

WISSENSCHAFTLICHE ERGÄNZUNGSHFETE

ZUR

ZEITSCHRIFT DES D. U. Ö. ALPENVEREINS.

I. BÄND. — I. HEFT.

DER VERNAGTFERNER

SEINE GESCHICHTE UND SEINE VERMESSUNG IN DEN JAHREN 1888 UND 1889.

VON

DR. S. FINSTERWALDER

O. PROF. AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN MÜNCHEN.

MIT EINER KARTE DES FERNERS IN 1:10 000, ZWEI TAFELN UND VIELEN TEXTFIGUREN.

DAZU EIN ANHANG:

DIE NACHMESSUNGEN AM VERNAGTFERNER

IN DEN JAHREN 1891, 1893 UND 1895.

VON

DR. A. BLÜMCKE UND DR. H. HESS

KGL. REALLEHRERN IN NÜRNBERG.

MIT EINER KARTE UND TEXTFIGUREN.

GRAZ, 1897.

VERLAG DES DEUTSCHEN UND ÖSTERREICHISCHEN ALPENVEREINS.

IN COMMISSION BEI DER J. LINDAUER'SCHEN BUCHHANDLUNG IN MÜNCHEN.

Zur Einführung.

Im Auftrage des Central-Ausschusses wird hiermit den Vereinsmitgliedern und dem wissenschaftlichen Publikum der Beginn einer neuen Serie von Veröffentlichungen des D. u. Ö. Alpenvereins vorgelegt. Das vom Verein herausgegebene, von dem Unterzeichneten redigierte Werk »Die Erschliessung der Ostalpen« hatte schon beim Erscheinen des letzten Heftes seine Kosten gedeckt. Es war demnach ein Reingewinn mit Sicherheit zu erwarten, und auf Anregung des damaligen zweiten Vereins-Präsidenten Freiherrn von Richthofen beschloss die General-Versammlung in München 1894, die Erträge jenes Werkes und ähnlicher Unternehmungen zu einem Fonds aufzusammeln, aus welchem »unter Zuziehung des wissenschaftlichen Beirathes Zuschüsse gewährt werden: a) für die Herausgabe solcher Werke, welche im Interesse des D. u. Ö. Alpenvereins liegen und welche ohne solchen Vorschuss oder Unterstützung nicht veröffentlicht werden können; b) für die Herausgabe solcher nicht im Rahmen der bestehenden Veröffentlichungen gelegenen Karten, deren Herstellung wegen der auf Aufnahmen im Felde oder auf technische Ausführung zu verwendenden besonderen Sorgfalt einen aussergewöhnlichen Kostenaufwand verursacht.«

Der gegenwärtige Central-Ausschuss in Graz sah sich durch den fortdauernd guten Absatz der »Erschliessung« in die Lage gesetzt, über die zweckdienlichste Verwendung des allmählig sich mehrenden Fonds schlüssig zu werden. Auf Antrag des Unterzeichneten entschied man sich nach eingeholter Zustimmung des wissenschaftlichen Beirathes dahin, eine selbstständige Reihe wissenschaftlicher Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. u. Ö. Alpenvereines erscheinen zu lassen, in denen in erster Linie die Ergebnisse jener wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlicht werden sollen, welche mit Unterstützung des Vereines unternommen werden. Damit war am besten einem doppelten Übelstande abzuhelpfen, der sich in Bezug auf die wissenschaftlichen Unternehmungen des Vereines bemerkbar gemacht hatte. Schien es nämlich einerseits sehr wünschenswerth, dass die Ergebnisse dieser Unternehmungen auch vom Verein selbst veröffentlicht werden und nicht, wie es schon geschehen war, in fremden Zeitschriften zum Abdruck kamen oder unveröffentlicht blieben, so war es doch auch bedenklich, die Vereins-Zeitschrift allzu sehr mit streng wissenschaftlichen Abhandlungen zu füllen.

Hier sollen nun die neuen Ergänzungshefte aushelfend eintreten. Sie sind in erster Linie der Veröffentlichung der eigenen Arbeiten des Vereines gewidmet und sollen somit eine Reihe streng sachlicher, selbstständiger Original-Untersuchungen

zur Kunde der Ostalpen bringen, während der Zeitschrift populärer gehaltene oder kleinere wissenschaftliche Aufsätze vorbehalten bleiben.

Die neue Veröffentlichung bewegt sich streng innerhalb des Vereinszweckes, als dessen ersten der § 1 der Statuten angiebt: »Die Kenntniss der Alpen Deutschlands und Österreichs zu erweitern«. Dieser Erweiterung oder Vertiefung sollen die wissenschaftlichen Ergänzungshefte dienen, während die regelmässigen Veröffentlichungen: Zeitschrift und Mittheilungen mehr der »Verbreitung« jener Kenntniss gewidmet bleiben.

Zur Eröffnung der »Ergänzungshefte« bot sich eine Arbeit dar, wie nicht leicht eine geeignetere gefunden werden konnte. Prof. Dr. S. Finsterwalder und seine Gefährten Dr. A. Blümcke und Dr. Hans Hess hatten in den Jahren 1888 und 1889 mit Unterstützung des Vereins eine kartographische Aufnahme des durch seine aussergewöhnlichen Schwankungen berühmten Vernagtferners vorgenommen; eine Aufnahme von solcher Genauigkeit, wie sie wohl noch niemals auf einen Gletscher gewendet worden ist. Sie wird für alle Zukunft, nicht bloss bei neuen Vorstossen, sondern zum Studium der Physik der Gletscher überhaupt, die werthvollste Grundlage unserer Kenntnisse bilden; eine Grundlage, die bisher fehlt, da die Aufnahme des Rhonegletschers durch den Schweizer Alpenclub und die Schweizer naturforschende Gesellschaft noch immer nicht veröffentlicht ist.

Möge der neuen »Wissenschaftlichen Zeitschrift« der Beifall der Sachverständigen nicht fehlen, und möge sie unter demselben guten Sterne blühen und gedeihen, der bisher allen Unternehmungen des D. u. Ö. Alpenvereins geleuchtet hat.

GRAZ, im Juli 1897.

PROF. DR. EDUARD RICHTER.

Vorwort.

Die vorliegende Schrift möge im Wesentlichen als Begleitschrift zu der neuen Karte des Vernagtferners angesehen werden, und zwar insofern, als die Herausgabe der Karte dem Verfasser die Veranlassung geboten hat, sich nicht bloss über die technischen Einzelheiten der Aufnahme und Construction der Karte zu verbreiten, sondern auch alles dasjenige zusammenzufassen, was er einestheils in der Literatur Thatsächliches und Bemerkenswerthes über die zahlreichen Ausbrüche dieses merkwürdigen Ferners gefunden, anderntheils sich selbst in der langen Zeit seiner Beschäftigung mit diesem Gegenstand zur Charakterisierung und möglichen Aufhellung der seltsamen Erscheinungen zurechtgelegt hat. Für die Zukunft, wenn wieder bedrohliche Ereignisse die allgemeine Aufmerksamkeit auf den Vernagtferner lenken, wird die Karte und der zu ihrer Würdigung dienende technische Theil der Schrift das eigentliche, dauernde Interesse des ernsten Forschers beanspruchen. Das Übrige ist für ihn theils bekannt, theils unverbindlich; es mag aber weiteren Kreisen zur Einführung in den Gegenstand dienlich sein. Die nächste Veranlassung zur Inangriffnahme der Vermessung des Vernagtferners lag in dem Umstande, dass zu Ende der achtziger Jahre sehr viele Zeichen auf einen endlich erreichten Minimalstand der Ostalpengletscher hindeuteten und ein baldiges Vorrücken in Aussicht stellten. Der Präsident des D. u. Ö. Alpenvereins im Zeitraume von 1883—1885, Herr Professor Dr. E. Richter, hat keine Gelegenheit vorübergehen lassen, diesen Umstand zu betonen und auf eine Ausnutzung desselben für die Gletscherkunde hinzuwirken. Speciell das Studium des Vernagtgletschers bezeichnete er als eine Ehrenpflicht des Alpenvereins der Wissenschaft gegenüber. In gemeinsamer Arbeit mit einigen Genossen hatte der Verfasser bereits die Dimensionen dreier Gletscherzungen karto-graphisch festgelegt, und es bedurfte nur eines Winkes, um ihn und seine Freunde, die Herren Dr. A. Blümcke, Dr. H. Hess und Dr. Gg. Kerschensteiner, zu der ungleich schwierigeren Arbeit der Vermessung des Vernagtferners zu veranlassen. Denn dass in diesem Falle mit der Vermessung der Zunge und des Vorterrains nichts gedient war, stand von vornherein fest, und der genauen Aufnahme eines Firnfeldes von den Dimensionen des Vernagt mussten manche erwartete und unvorhergesehene Hindernisse begegnen, deren Bezwigung sie eben reizte. Eine sehr erhebliche, wenn schon nicht alle Auslagen deckende Subvention des Alpenvereins ermöglichte in den Sommern 1888 und 1889 ihr Vorhaben, soweit die Feldarbeit in Frage kam. Obwohl der Verfasser im Vereine mit Herrn Dr. Blümcke alsbald an die Ausarbeitung der Resultate gieng, verzögerte sich doch die Fertigstellung derselben aus

inneren und äusseren Gründen in mannigfacher und unliebsamer Weise. Zu ersteren ist der Umstand zu zählen, dass erst die bei der Berechnung aufgetauchten Zweifel an der Richtigkeit der von der Landesvermessung gelieferten Grundlagen geprüft werden mussten, zu letzteren die bald nach der Feldarbeit eintretende räumliche Trennung des Verfassers von seinem Mitarbeiter und die ihnen neu auferlegten Amtspflichten. Infolge der erwähnten Trennung fiel die ganze Arbeit der Kartenconstruction und damit auch die Verantwortung für dieselbe dem Verfasser zu, wodurch die ursprüngliche Absicht einer gemeinsamen Publication vereitelt wurde. Umsomehr fühlt sich derselbe verpflichtet, hier den gleichmässigen Anteil seiner beiden Genossen Blümcke und Hess an der Feldarbeit und speciell jenen des Herrn Dr. Blümcke an den trigonometrischen Rechnungen hervorzuheben und ihnen für die uneigen-nützige Beihilfe zu danken, die sie ihm zuerst im Felde und auch gelegentlich später während der Verarbeitung des Materials angedeihen liessen. Eine dankenswerthe Unter-stützung bei Revision des Manuscriptes, Herstellung der Textfiguren und Lesung der Correctur erfuhr er endlich von Seiten des Herrn R. Lutz, Assistenten an der technischen Hochschule dahier. Der beste Dank aber gebührt dem Deutschen und Österreichischen Alpenverein, der die Unternehmung durch seine Subvention ermöglicht und durch eine würdige Publication der Karte gekrönt hat.

München, im Mai 1897.

S. Finsterwalder.

Einleitung.

Die Meteorologie der letzten Jahre hat keine schönere und weittragendere Erungenschaft aufzuweisen als die Lehre von den Klimaschwankungen. Ausgehend von der Thatsache, dass gewisse Elementarereignisse, wie Überschwemmungen, Gletschervorstösse zu manchen Zeiten häufiger, zu anderen seltener eintreten, oder ganz ausbleiben und sogar Trockenheit und starkem Gletscherschwinden Platz machen, kam man auf den Gedanken, dass das Klima ausser den allbekannten unregelmässigen Änderungen von Jahr zu Jahr auch längerdauernden Schwankungen unterliege, deren Wirkungen in den genannten Erscheinungen zu Tage träten. Son klar war wohl der erste, der gerade mit Rücksicht auf die wiederholt eingetretenen Vorstösse des Vernagtferners die regelmässige Periodicität solcher Klimaschwankungen für das Gebiet der Alpen behauptet und ihr Vorhandensein auch meteorologisch nachzuweisen versucht hat. Aber erst 30 Jahre später ist es Forschern wie Forel, C. Lang, E. Richter gelungen, den Parallelismus der Gletscherschwankungen mit den Änderungen des Klimas, so wie es sich in den meteorologischen Daten ausspricht, zu erweisen, und damit den Zusammenhang beider verständlich zu machen. Den grössten Fortschritt erzielte aber E. Brückner¹⁾ im Jahre 1890 dadurch, dass er zeigte, dass die Klimaschwankungen sich nicht etwa bloss auf die Alpen oder vergletscherte Gebiete erstrecken, sondern die ganze Landoberfläche der Erde umfassen. In Zeiträumen von durchschnittlich 35 Jahren wechselt eine kühlfeuchte mit einer warmtrockenen Periode ab, und Brückner hat diesen Wechsel zurückverfolgt auf Grund meteorologischer und hydrographischer Beobachtungen bis etwa 1750, auf Grund von Aufschreibungen über den Termin der Weinernten bis auf 1400 zurück, und endlich durch Auszählung der bekannten Nachrichten über kalte Winter bis gegen das Jahr 1000 hinauf, also über einen Zeitraum von nahezu 900 Jahren. Nicht ganz regelmässig und einfach vollziehen sich diese Schwankungen, sie heben nicht den Unterschied der Jahre auf oder vermindern ihn wesentlich, nur die Tendenz ist beispielsweise 15—20 Jahre lang zu feuchtkalten Jahrgängen vorhanden; innerhalb dieser Zeit kommen wohl trockene Jahre vor, aber sie sind seltener. Auch die Dauer einer Periode ist nicht immer gleich, sie schwankt selbst zwischen 20 und 50 Jahren, ähnlich wie die Länge der Jahreszeiten in verschiedenen Jahrgängen.

Brückner hat im Gegensatz zu seinen Vorgängern bei seinem Nachweis der Klimaschwankungen den Gletscherschwankungen wenig Gewicht beigelegt, einestheils weil er der Gleichzeitigkeit beider Erscheinungen nicht ganz sicher war, andern-

Klima-
schwankungen
als Ursache der
Gletscher-
schwankungen.

¹⁾ Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Penck's Geogr. Abhdlgn. Bd. IV. Heft II. Auf dieses bahnbrechende Werk verweise ich auch bezüglich der Literatur über den Gegenstand.

theils weil die Überlieferung der vielen Nachrichten über Gletschervorstösse durch ihre Mangelhaftigkeit und Kritiklosigkeit Bedenken erregte. Nach beiden Richtungen hin hat wiederum E. Richter¹⁾ ergänzend eingegriffen, indem er zeigte, dass die Nachrichten, die vor der historischen Kritik Stand halten, bis zum Ende des 16. Jahrhunderts zurück ganz bestimmte, in den Alpen nahezu gleichzeitig eintretende Gletscherschwankungen ausweisen, welche mit den von Brückner ermittelten Klimaschwankungen entweder vollkommen zusammenfallen oder ihrem Cyklus sich ergänzend einfügen. Durch diese Untersuchung sind die sicher überlieferten Gletschnernachrichten zu den besten Beweisstücken für Klimaschwankungen gestempelt. Das wissenschaftliche Interesse an dem Zusammenhang zwischen Gletscher- und Klimaschwankungen geht aber weit über die historischen Zeiten hinaus. Die Eiszeit mit ihren mehrfachen Wiederholungen und die ihr zu Grunde liegenden Klimaschwankungen können uns nur verständlich werden durch sorgfältiges Studium der analogen, vor unsrern Augen sich abspielenden, zwerghaften Erscheinungen der Gletschervorstösse. Von keinem Gletscher der Alpen aber sind mehr und umfangreichere Veränderungen der Ausdehnung bekannt und aktenmässig festgelegt als vom Vernagtferner. Die Veränderungen sind im Vergleich zu denen anderer Gletscher so excessiv und in die Augen fallend, dass fürs Erste eine aussergewöhnliche Ursache nicht von der Hand zu weisen ist. Umsomehr verdient derselbe das eingehendste Studium. Seit dem Jahre 1772, wo ihn J. Walcher, Professor der Mechanik an der Universität Wien, als erster Gelehrter in Augenschein nahm, ist er von vielen Forschern wie Stotter, den Gebr. Schlagintweit, Simony, Sonklar, E. Richter besucht und studiert worden. Letzterer speciell bemühte sich, dem Gletscher den Nimbus des Aussergewöhnlichen zu nehmen und zu zeigen, dass seine Vorstösse, so wie sie zeitlich mit den allgemeinen Klimaschwankungen zusammenfallen, auch räumlich nicht über die Dimensionen hinausgehen, die wir an Gletschern ähnlicher Ausdehnung gewohnt sind, und dass nur zufällige Umstände die Vorstösse so gross erscheinen lassen, allein er scheiterte eingestandenermaassen trotz Originalaufnahme und Reambulierung des k. k. Militärgeographischen Instituts an der Unzulänglichkeit des Kartenmaterials. In dieser Beziehung gründlich Wandel zu schaffen, war die Hauptaufgabe, die ich mir mit meinen Genossen gestellt hatte. Von ihrer Bewältigung wird im zweiten Theile dieser Schrift ausführlich gehandelt. Der Wichtigkeit der Sache entsprechend und nicht nur der Vollständigkeit halber soll im ersten Theile die Geschichte der Veränderungen des Vernagtgletschers dargelegt werden. Der dritte Theil beschäftigt sich mit den Resultaten, die sich bereits aus der genauen Kenntniss der heutigen und früheren Dimensionen des Gletschers ziehen lassen, und versucht die Wege anzugeben, auf welchen künftige Beobachtungen, namentlich bei einem neuen (vor einem Vierteljahrhundert wohl nicht mehr zu erwartenden) Vorstosse, zur weiteren Klarstellung der auffallenden Vorgänge führen werden.

¹⁾ Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher. Zeitschrift des D. u. Ö. A.-V. Bd. XXII. 1891. S. 1.

I. Theil.

Allgemeine Topographie des Vernagtferners und Geschichte seiner Schwankungen.

Die Lage des Vernagtferners.

Begrenzt man die Ötzthaler Alpen durch die Thalfurchen des Inn, der Otz, der Passer und der Etsch, so liegt der Vernagtferner genau im Schwerpunkt des so definierten Gebietes. Der von Südwest nach Nordost streichende, durch die Gipfel: Weisskugel, Fluchtkogl, Hochvernagtspitze, Hinterer Brochkogl, Wildspitze und Schwarze Schneide markierte Weisskamm, die centrale Erhebung des ganzen Gebirgsstockes, bildet zwischen den Punkten Fluchtkogl und Hinterer Brochkogl eine nach Süden offene Ausbiegung, an die sich südost- bzw. südwärts Seitenkämme vom Fluchtkogl zur Vorderen Guslarspitze und vom Hinteren Brochkogl zum Platteikogl anschliessen. So entsteht eine ovale, zu vier Fünfteln geschlossene flache Mulde von 6 km Länge, 4,5 km Breite und 19,5 km² Flächeninhalt, welche in südwestlicher Richtung durch das Vernagtthal entwässert wird. Sie birgt das Firnfeld des Vernagtferners. Der Boden der Mulde liegt im Mittel über 3000 m, der tiefste Punkt, an dem die Entwässerung erfolgt, bei ca. 2500 m, die Umrahmung erhebt sich durchschnittlich auf etwa 3300 m und erreicht im Fluchtkogl 3504 m, in der Hochvernagtspitze 3536 m, in der Petersenspitze 3487 m und im Hinteren Brochkogl 3663 m. Ein 2 km langer, ca. 3200 m hoher zackiger Grat, der Hintergraslkamm, der vom Fluchtkogl zur Hintergraslspitze 3325 m abzweigt, trennt die Mulde in zwei ungleiche, sich wie 3:1 verhaltende Theile, von denen der grössere den Hochvernagtferner, der kleinere den Guslarferner birgt. Die Zungen beider vereinigen sich am Fusse des Scheidekammes, unterhalb eines dreieckigen, moränenumschlossenen Grasfleckes, dem Hintergrasl.¹⁾ Kürzere Felsäste, von der Kesselwandspitze, der Hochvernagtspitze, der Petersenspitze und dem Vorderen Brochkogl auslaufend, gliedern die höhergelegenen Partien der Firnfelder. Zwei kleine Firnflecke an der Nordseite der Guslarspitzen und an der Westseite des Platteikogls haben, obwohl mit den grossen Firnen zusammenhängend, ihren eigenen Abfluss und werden als Klein-Guslar- und Klein-Vernagtferner von jenen unterschieden. Die Entwässerung der Mulde erfolgt durch das Vernagtthal, einen 2 km langen, schnurgeraden Graben von 500 m Breite, 200 m Tiefe mit sehr steilen Wänden und starkem Gefälle (400 m auf 2 km). Dieser Graben mündet in 2112 m Höhe in das Rofenthal, das von der Rofener Ache, die am Hintereisferner entspringt und bis zur Einmündung des Vernagtbaches die Abflüsse des Hochjochferners und der Kreuzferner aufnimmt, durchströmt wird. Bei Vent vereinigt sich die Rofener Ache mit dem Niederthalbach zur

Lage des Vernagtferners,
Gliederung der Firnmulde.

¹⁾ Genauer: Vernagt-Hintergrasl, zur Unterscheidung von ähnlich gelegenen gletscherumflossenen Vegetationsinseln. Hintergrasl bedeutet im Ötzthal dasselbe wie Keesfleck in den Tauern.

Venter- oder Spiegel-Ache und diese wiederum bei Zwieselstein mit der Gurgler Ache zur Ötzthaler Ache, welche sich nach 40 km langem Laufe in den Inn ergiesst.

Die Gletscher-
zunge, ihre Vor-
stöße und deren
Folgen.

Für gewöhnlich reicht die gemeinsame Zunge des vereinigten Vernagt-Guslarfernerns nicht ganz einen Kilometer über die Vereinigungsstelle an dem Hintergrasl hinaus, sie endet dann in etwa 2500 m Höhe, 1—2 km weit von der Mündung des Grabens in die Rofener Ache. Zu Zeiten starken Gletscherrückgangs kommt es wohl vor, dass der Zusammenhang beider Zungen ganz unterbrochen ist, indem sich der Guslarferner so verkürzt, dass er die schmale Zunge des Hochvernagtfernerns nicht mehr erreicht. Ganz anders wird der Zustand bei einem Gletschervorstoss. Gewaltige Eismassen schieben sich in den Graben herab; in ein bis zwei Jahren verlängert sich der Ferner um 1000—1500 m und erfüllt nicht nur den Graben mit zerschründetem Eis, sondern staut sich an der gegenüberliegenden Wand des Rofenthales, der sogenannten Zwerchwand,¹⁾ hoch empor, fliest im Rofenthal kuchenförmig nach beiden Seiten, thalaus und thalein, auseinander und bildet dort einen 1200 m langen, 400 m breiten und 200 m dicken Eisdamm, der sich, wie ein Hammer an seinem Stiel, an die im Vernagtgraben liegende Zunge anschliesst. Sobald das vordringende Gletscherende die Rofener Ache erreicht hat, dämmt es diese ab und staut sie zu einem 1500 m langen, 300 m breiten und gegen 100 m tiefen See auf, der dann gelegentlich in der Art ausbricht, dass das Wasser unter dem Eise, zumeist im ursprünglichen Bachbett, einen Weg findet und diesen mit Gewalt erweitert, wodurch eine rasche Entleerung des Seebeckens herbeigeführt wird. Die abströmenden Fluthen verheeren das Ötzthal und manchmal auch das benachbarte Innthal in ungewöhnlichem Maasse. Nach einem Ausbruch findet die Rofener Ache in dem neuen Kanal zunächst ungehinderten Abfluss, aber häufig wird durch die andauernde Bewegung des Ferners der Kanal bald wieder verdrückt und die Aufstauung beginnt von Neuem, um in der Regel mit einem wiederholten Ausbruch zu enden. Dies dauert einige Jahre und der geschilderte Zustand bildet naturgemäss eine Quelle von Furcht und Sorge für die Bewohner des Ötzthales. Ist die Bewegung des Ferners nicht mehr ausreichend, den Abfluss des Baches zu verhindern, so gewinnt alsbald die Ablation die Herrschaft über den geringer gewordenen Nachschub der Eismassen; der Ferner schmilzt rasch zusammen, bedeckt sich mit Schutt, zerfällt an den steilen Partien des Grabens und sein Zungenende hat längst schon seine stabile Lage am obersten Ende des Vernagtgrabens eingenommen, ehe noch die mächtigen toten, in Schutt gehüllten Eismassen im Rofenthal der Vernichtung anheimgefallen sind.

Geschichte des Vernagtfernerns.

Urkunden über
die Ausbrüche
des Vernagt-
fernerns.

Die drohende Überschwemmungsgefahr, welche bei starkem Anwachsen des Vernagtfernerns eintritt, machte begreiflicherweise ein Eingreifen der Behörden nöthig. Das Aktenmaterial, das sich hiebei in dem Archiv der Statthalterei Innsbruck gesammelt hat, weist vier solcher Gletschervorstösse urkundlich nach, und zwar aus den Jahren um 1600, 1680, 1770 und 1845, von denen der letztere noch in die persönliche Erinnerung der Gegenwart hereinragt. Die Urkunden sind von verschiedenen Forschern, die sich mit dem Vernagtferner beschäftigt haben, so von J. Walcher, Stotter und Sonklar eingesehen und excerptiert worden, aber weder

¹⁾ In dem hier gebrauchten Sinne hat sich der Name Zwerchwand in der Literatur eingebürgert. Ursprünglich verstand man darunter, wie noch der heutige Sprachgebrauch des Volkes ausweist, nicht die plattige Thalwand selbst, sondern deren senkrechten Abbruch quer zur Thalrichtung, welcher ein grosses Hinderniss für den Saumweg bildet.

erschöpfend, noch auch immer richtig. Erst infolge der ausführlichen Publication derselben durch E. Richter¹⁾ haben wir eine vollständige Einsicht in das auch culturhistorisch hochinteressante Aktenmaterial erhalten. Manche seit Jahrzehnten in der Literatur weitverbreitete, missverständliche Nachricht über den Vernagtferner, so namentlich ein von Sonklar eingeschmuggelter Ausbruch vom Jahre 1626, ist damit aus der Liste der beglaubigten Thatsachen gestrichen worden.

Es soll nun versucht werden, an der Hand des vorliegenden Materials die Veränderungen des Vernagtferners und ihre Folgeerscheinungen zusammenhängend zu schildern. Die Nachrichten beginnen mit dem Jahre 1599; sie enthalten keinen Hinweis auf frühere Zustände des Ferners. Wenn schon mit Rücksicht auf den um diese Zeit erst allgemeiner gewordenen Gebrauch von Akten ausführliche urkundliche Nachrichten über frühere Ausbrüche nicht zu erwarten sind und ihr Fehlen daher nichts gegen das Vorkommen früherer Ausbrüche beweist, so legt doch das Schweigen der ersten Berichte über frühere Ausbrüche den Gedanken nahe, dass solche seit mehr als einem Jahrhundert nicht stattgefunden hatten und dies umso mehr, als die Berichte vom Jahre 1670 die Erinnerung der Bevölkerung an den ersten Ausbruch vom Jahre 1599 beweisen. Freilich wird hier bereits das zeitweise Vorrücken des Ferners ins Rofenthal als eine »natürliche Gewohnheit« desselben bezeichnet, aber ich halte die einmalige Wiederholung des Fernervorstosses zur Erklärung des genannten Ausdruckes vollständig ausreichend und stütze mich hiebei auf das tagtägliche Vorkommen ähnlicher Verallgemeinerungen beim heutigen Gebirgsvolk. So sehr die Frage nach der Wahrscheinlichkeit früherer Ausbrüche für den Naturforscher zu bejahen ist, scheint sie für den Historiker durchaus offen.

Im Jahre 1599, vermutlich im Winter, hatte sich der Ferner bereits ins Rofenthal gesetzt und im Frühjahr 1600 begann die Aufstauung des Sees. Am 20. Juli 1600 fand ein Ausbruch der aufgestauten Wassermassen statt, welcher 20000 fl. Schaden anrichtete. Das Wachsen des Gletschers aber dauerte fort. Im folgenden Jahre war die Eismasse im Rofenthal sechsmal so gross als im Jahr vorher. Die Länge des Sees betrug 1200 m, die Breite 330 m, die Tiefe 110 m, alles Dimensionen, die durchaus im Bereiche der Wahrscheinlichkeit liegen. Am 12. Juli 1601 begann das Wasser am tiefsten Punkte des stauenden Dammes an einer vom gewölbten Gletscher und der Zwerchwand gebildeten Scharte überzulaufen. Bis 11. August hatte sich der Spiegel bereits um 25 m gesenkt und am 9. September war der See dem Verschwinden nahe. Der Gletscher war eingesunken, der gefürchtete Ausbruch unterblieb in diesem und den folgenden Jahren. Die Berichte über diesen Gletschervorstoß und seine Folgen röhren theils vom Bauschreiber Abraham Jäger, einem verzagten, übertreibenden, wenig bergkundigen Beamten, theils von den Commissären der Stadt Innsbruck, dem Metzger Püppele und dem Bergknappen Griesstetter her, welch' letztere sich durch Objectivität und Sachkenntniß vortheilhaft vor jenem auszeichnen.

Erster Gletscher-
ausbruch i. Jahre
1599.

¹⁾ Urkunden über die Ausbrüche des Vernagt- und Gurglergletschers im 17. und 18. Jahrhundert. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. VI, Heft 4. Stuttgart, Engelhorn, 1892. E. Richter hat zu wiederholten Malen über den Vernagtferner und seine Geschichte geschrieben: Zur Geschichte des Vernagtferners. Zeitschr. d. Alpenvereins 1877, S. 164; Die Gletscher des Ötztales im Jahre 1883. Ebenda 1885, S. 58; ferner in seinem grundlegenden Werk über die Gletscher der Ostalpen. Stuttgart, Engelhorn, 1888, S. 143 u. ff., das eine gedrängte Topographie und Geschichte des Ferners enthält. Die neu herausgegebenen Urkunden sind auch in der schon citirten Abhandlung: Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher, Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins 1891, S. 1, verwerthet. Von älterer Literatur ist namhaft zu machen: J. Walcher, Nachrichten von den Eisbergen in Tirol. Wien, 1773; Dr. M. Stotter: Die Gletscher des Vernagtthales in Tirol und ihre Geschichte. Innsbruck, 1846; H. und A. d. Schlagintweit: Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen. Leipzig, 1850; Sonklar: Die Ötztaler Gebirgsgruppe. Gotha, 1860. Mit Atlas.

Zweiter
Gletschervorstoss
um das Jahr 1680.

Über den zweiten Gletschervorstoss, der den Zeitraum 1676 bis 1681 umfasst, giebt es Augenscheinsberichte eines Kapuzinerpater aus Brixen, der vom dortigen Bischof ins Ötzthal gesandt wurde, um die durch das Erscheinen des Sees arg erschreckte Bevölkerung zu beruhigen und zu Busse und Gottvertrauen anzuhalten. Ausserdem ist eine von den angesehenen Einwohnern Lengenfelds Johann und Benedikt Kuen (Vater und Sohn) verfasste sogenannte Chronik dieses Ereignisses und ähnlicher vorhanden, die 1683 begonnen und bis 1725 fortgeführt wurde. Ihr ausgesprochener Zweck ist, späteren Generationen die Erfahrungen der Gegenwart zu gute kommen zu lassen. Beide Quellen sind sehr vertrauenswerth.

Nach ihnen war der Verlauf der Erscheinungen folgender. Im Jahre 1676 hörte man wieder von einer Vergrösserung des Gletschers. Die Regierung bestellte einen Wächter zur Beobachtung desselben. Das Eis erreichte Ende des Jahres 1677 das Rofenthal. Im Mai 1678 verschloss sich der Ausgang des Rofenbaches und es begann die Aufstauung. Bereits am 24. Mai lief der schon ziemlich gross gewordene See in vier Stunden unvermuthet mit grossem Geräusch, aber ohne Schaden anzurichten, ab. Ende Juni begann die Aufstauung von Neuem, und schon am 6. Juli war der See 1110 m lang, 300 m breit und angeblich 200 m tief. Obwohl der Eisdamm den See noch um 33 m überragte, war er dennoch um 63 m niedriger als die Moränenspuren vom Ausbruch des Jahres 1600. In der Richtung thalauswärts gegen Vent fehlten noch 322 m an der damaligen Ausdehnung. In sechs Tagen stieg das Wasser um 11 m und begann an der Zwerchwand überzulaufen. Am 16. Juli 1678 erfolgte der Seeausbruch, wohl der schlimmste, den das Ötzthal je erlebt hat. Gleichzeitig gieng aus dem Sulzthal bei Lengenfeld eine Muhere nieder und vermehrte die Verwüstung. Weitere Ausbrüche fanden 1679 und am 14. Juni 1680 statt, von denen der erste unschädlich, der zweite aber umso verheerender verlief. Im Jahre 1681 staute sich der See wiederum, aber der Eisdamm war bereits auf ein Drittel der Dimensionen von 1678 zusammengesunken und compact geworden. In der Zeit vom 8.—10. Juli hackten zwölf Lengenfelder unter Leitung des Chronisten Johann Kuen einen Abzugsgruben ins Eis, der sich durch das abfliessende Wasser vertiefte und die Zerstörung des Eisdammes einleitete. In den nächsten Jahren bildete sich der See immer wieder und füllte sich zum Überlaufen. Das abfliessende Wasser besorgte aber stets eine allmähliche Vertiefung des Rinnsales und damit eine unschädliche Entleerung des Sees. Schon 1683 war man ausser Sorgen. Die letzten Eisreste verschwanden erst 1712 aus dem Rofenthal, sie hatten dort 34 Jahre ausgedauert.

Dritter Vorstoss
vom Jahre 1773.

Über den dritten Vorstoss des Vernagtferners belehrt uns ein bekanntes Buch: Nachrichten von den Eisbergen in Tirol von Josef Walcher, aus der G. J., der Mechanik öffentlicher Lehrer an der Universität zu Wien, 1773. Ausserdem liegen umfangreiche und ausführliche Akten vor, welche namentlich für den späteren Verlauf der Ereignisse von Wichtigkeit sind.

Die Aufregung unter den Bewohnern des Ötzthales, welche im Jahre 1770 anlässlich einer ungewöhnlichen Seeanstauung am Gurglerferner entstanden war, steigerte sich gewaltig, als 1771 das Anwachsen des Vernagtferners ruchbar wurde. Bereits im August desselben Jahres erreichte der Gletscher die Sohle des Rofenthales. Man versuchte das vordrängende Eis durch Menschenkraft wegzuräumen, um den Abfluss des Baches frei zu erhalten, allein das liess sich nur kurze Zeit ausführen. Der Eintritt des Winters vertrieb die Arbeiter und im November begann die Bildung des Sees. Dieser stieg während des ganzen Sommers 1772 und erreichte die Grösse früherer Perioden. Doch kam es zu keinem gefährlichen Ausbruch, sondern der See floss an der niedrigsten Stelle des Eisdammes über, vertiefte wieder sein Rinn-

sal und entleerte sich allmählig. Dasselbe Schauspiel wiederholte sich im Juli 1773 und Ende Juni 1774, so dass es bei dieser Vorstossperiode zu keinem verheerenden Ausbruch kam. Obwohl im Juli 1773 der Seespiegel in fünf Stunden um etwa 35 m sank, richtete das abströmende Wasser keinen Schaden an, weil infolge der kalten Witterung der Bach ausserdem wenig Wasser führte, sein Bett sich dank den behördlichen Maassregeln in besonders gutem Zustande befand und die Brücken theils abgetragen, theils erhöht waren. Der Ferner hatte bei diesem Vorstoss dieselben Dimensionen wie beim letzten erreicht und die Grösse des Sees blieb nur wenig hinter der früheren zurück. Der Seespiegel reichte sogar an den dahinter liegenden Fernern Hintereis- und Hochjochferner in die Höhe, was von früheren Anstauungen nie berichtet wird und sich wohl nur durch starke Verlängerung genannter Ferner erklären lässt.

Nach einer bei Walcher stehenden Notiz befürchteten die Thalbewohner nur dann ein gefährliches Anwachsen des Ferners, wenn beide Zuflüsse der Guslar- und der Hochvernagtferner zusammen vorgingen; ein einseitiges Vorschreiten des Hochvernagtferners sei gefahrlos. Obwohl die sachliche Berechtigung dieser Volksmeinung einigermaassen zweifelhaft ist, schon insofern, als ein so ganz ungleiches Verhalten der zwei benachbarten Fernerzuflüsse unwahrscheinlich klingt, beweist dieselbe doch, dass ein ungefährliches Anwachsen des Ferners schon wiederholt bemerkt wurde, obwohl uns begreiflicherweise keine urkundlichen Nachrichten darüber vorliegen. Ein solches Anwachsen darf uns nicht Wunder nehmen; denn seit dem Jahre 1600 bis zu Walchers Zeit hat der Vernagtferner die kühlfeuchten Perioden 1625—1630, 1705—1715 und 1730—1745 vorübergehen lassen, ohne den Rofensee abzudämmen, trotzdem uns die Wirkung der zweiten Periode auf die Ötzthaler Gletscher durch das bedrohliche Wachsen des Gurgler Eissee 1716—1724, die der dritten durch ein Anwachsen des Übelthalfernern und Maassregeln, die im Ridnaunthal gegen Seeausbrüche getroffen wurden, bezeugt ist.¹⁾ Zur ersten Periode würde die Nachricht Sonklar's von einem ungefährlichen Vorstoss des Vernagtferners im Jahre 1626 stimmen, wenn sie in der von ihm citierten Quelle, der Chronik Kuen's, auffindbar und damit beglaubigt wäre, was leider nicht der Fall ist.

Ausführlich bezeugt ist uns dagegen ein partielles Anwachsen des Hochvernagtferners im Jahre 1820.²⁾ Nach der Originalaufnahme³⁾ zur alten Tiroler Specialkarte vom Jahre 1817, welche in der Gegend des Vernagtferners von dem bekannten Kartographen und nachmaligen Feldzeugmeister Hausla b als jungem Fähnrich hergestellt wurde und daher Vertrauen verdient, waren damals beide Fernerzuflüsse zwar erheblich grösser und namentlich breiter als heutzutage, aber das Ende der vereinigten Zungen lag immerhin noch 1400 m von der Rofener Ache entfernt. Bereits im Jahre 1820 begann nach den Berichten des Rofenbauers das Aufblähen und Vordrängen des Hochvernagtferners, während der Guslarferner nicht das geringste (!) Zeichen von Thätigkeit verspüren liess. Im Jahre 1822 erreichte die vorgeschobene Zunge nahezu das Hauptthal, aber sie blieb schmal und wenig zerklüftet. Es erfolgte keine Hemmung des Bachlaufes und das Eis schwand so rasch, als es gekommen war. Die Bevölkerung blieb ruhig.

Noch hatte sich der Gletscher kaum bis zum Stand von 1817 zurückgezogen, als 1840 der Rofenbauer ein Zunehmen des Guslarfernern in den oberen Theilen constatierte. Bald darauf folgte der Hochvernagtferner, doch währte es bis zum

Kleinere
Gletscherbeweg-
ungen, speciell
im Jahre 1820.

¹⁾ E. Richter: Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher. Zeitschr. d. A.-V. 1891.

²⁾ Stotter: Die Gletscher des Vernagthales. S. 24.

³⁾ Vergl. die Reproduction derselben in Fig. 1 auf Seite 15.

Vierter Gletscher-
ausbruch um das
Jahr 1845.

Ende des Jahres 1843, ehe sich das untere Zungenende, das damals, 13. November, 1276 m von der Rofener Ache entfernt war, in raschere Bewegung setzte. Bis 18. Juni 1844 hatte sich die Distanz auf 840 m, bis 18. Oktober auf 718 m verringert. Das Fernerende lag damals noch 252 m über der Ache. Die Geschwindigkeit steigerte sich fortwährend, erreichte Mitte Mai 1845 3,5 m pro Tag und wuchs gegen den 1. Juni, um welche Zeit die Zwerchwand erreicht wurde, auf 12 m pro Tag an. Als bald begann wieder die Aufstauung. Eine am 14. Juni 1845 entsendete Commission, der u. A. Stotter angehörte, fand bereits einen 850 m langen, 334 m breiten und im Mittel 29 m tiefen Stausee vor. Die wildzerklüfteten, unter fortwährendem Getöse herabdrängenden Eismassen des Vernagtferners erregten Staunen und Bewunderung. Als die Commission auf dem Rückwege nach Vent die Rofenbrücke passierte, fand der erste Ausbruch des Sees statt, wobei sich nach Stotter 1410000 cbm Wasser in 1 Stunde 3 Min. entleerten, also im Durchschnitt 370 cbm pro Sekunde. Der Ausbruch fand um 4 Uhr 30 Min. nachmittags statt, das Wasser kam um 5 Uhr 18 Min. in Vent (6 km), um 7 Uhr in Sölden (21 km), um 8 Uhr 15 Min. in Lengenfeld (35 km) und um 1 Uhr 30 Min. nachts in Innsbruck (102 km) an. Die Fluthwelle hatte demnach zum Zurücklegen des 102 km weiten Weges neun Stunden gebraucht, also eine mittlere Geschwindigkeit von 11,4 km pro Stunde entwickelt. Diese sehr geringe Geschwindigkeit erklärt sich durch die Hemmung, welche die Fluthwelle in den weiten Becken von Sölden, Lengenfeld, Umhausen und Ötz erfährt.

Der Eiskörper im Rofenthal vergrösserte sich fortwährend. Er erreichte schliesslich eine Länge von 1300 m und eine Dicke von 160 m. Der See bildete sich wiederholt und entleerte sich am 31. Januar, 8. und 9. Februar, 6. Juli, 6. und 9. Oktober 1846 ohne bedeutenden Schaden. Dann fand aber eine vom 18. Dezember 1846 bis 28. Mai 1847 dauernde Stauung statt, bei welcher der See nach Schlagintweit eine Länge von 1210 m, eine Breite von 260 m und eine grösste Tiefe von 85 m erreichte. Der Ausbruch verlief äusserst verheerend. Bei der darauf folgenden, noch länger, nämlich vom 11. September 1847 bis 13. Juni 1848, währenden Anstauung erreichte die grösste Tiefe des Sees 90 m und sein Spiegel erhab sich bis zum Ziegenstall der Rofenberger Alpe. Der Ausbruch war wiederum äusserst heftig. Diese Aufstauung war die letzte, von da ab behielt das Wasser unbehinderten Durchfluss. Der stauende Ferner hatte schon im Sommer 1848 an Dicke eingebüßt und der Nachschub der Eismassen war, wie aus Geschwindigkeitsmessungen der Gebrüder Schlagintweit hervorgeht, stark gemindert. Die Abschmelzung machte in der nächsten Zeit rapide Fortschritte. Bei Simony's erstem Besuche im Jahre 1852 war der im Rofenthale liegende Eiskuchen zwar noch von ansehnlicher Mächtigkeit, aber schien nur eine Masse ohne innere Bewegung zu bilden. Dagegen war der Abtrag des Gletschers in den nächst höheren, moränenfreien Theilen bedeutend: die schuttbedeckten Ränder überragten die eisfreie Mitte um 20 m und blieben ihrerseits am Südhang des Platteiberges mindestens 65 m unter den Moränenspuren der Thalwand. Ähnliches berichtet Sonklar aus den Jahren 1855 und 1856. Damals betrug das Einsinken der nur mehr schmalen, eisfreien Zone in der Mitte 95 m. Die Schuttbedeckung schritt von den Rändern gegen die Mitte immer weiter vor, wodurch der Ferner ein immer unansehnlicheres Aussehen bekam. Dasselbe schützte ihn vor weiterer Beachtung derart, dass wir über die folgenden Stadien des Rückzugs trotz steigenden Touristenverkehrs äusserst schlecht unterrichtet sind. Aus einer zufälligen Bemerkung von G. Holzmüller wissen wir, dass 1862 bereits eine Abtrennung des untern, schuttbedeckten Eis- körpers von der Zunge stattgefunden hat. Im darauffolgenden Jahre fand Simony

Stärkste An-
schwelling des
Stausees.

Rückgang des
Ferners.

an den moränenfreien Theilen das Eis auf ein Drittel der ursprünglichen Dicke reduziert. Im Jahre 1869 führte der Weg zum Hochjoch, wie E. Richter beobachtete, noch etwa eine halbe Stunde lang über das schuttbedeckte Eis, das aber bereits einige Einbruchlöcher über dem Bache zeigte. In der Originalaufnahme zur neuen Specialkarte¹⁾ vom Jahre 1871 läuft die Rofener Ache noch nahezu 500 m unter Eis und der Saumweg zum Hochjochhospiz führte über diesen Eisrest, doch nöthigte die geringe Haltbarkeit der Eisdecke bereits im nächsten Jahre zur Erbauung eines neuen, in die Felsen der Zwerchwand gesprengten Weges, der 1890 wegen Steinfallsgefahr wiederum verlassen und durch ein Provisorium auf der alten, damals längst eisfreien Trace ersetzt wurde. Das eigentliche Zungenende hatte sich bis 1800 m hinter die Zwerchwand zurückgezogen. Im Jahre 1883 constatierte E. Richter, dass das letzte Eis aus dem Rofenthal verschwunden war. Das Fernerende gieng bis zum heutigen Tage immer weiter zurück; 1895 fanden Blümcke und Hess die schon 1893 vorauszusehende Trennung der beiden Zuflüsse unterhalb des Hintergrasl vollzogen.²⁾

Projectierte Schutzmaassregeln.

Man kann keine Geschichte der Ausbrüche des Vernagtferners schreiben; ohne Maassregeln zur Verhütung der Wasserschäden. der vielen Vorschläge zu gedenken, die von Berufenen und Unberufenen gemacht wurden, um die Anstauung oder wenigstens deren verderbliche Wirkungen zu verhindern. Nehmen sie doch in den Akten den breitesten Raum ein. Immer wieder tauchen bei jedem Ausbruch dieselben Projecte auf, um von Neuem verworfen zu werden. Am üppigsten entfalten sie sich, wenn die Gefahr am drohendsten, die Aufregung am grössten ist und man unthätig und machtlos dem Schlimmsten entgegensehen muss. Ist aber die Katastrophe vorbei, so nimmt die Sorge um das Nächstliegende Hand und Sinn so sehr in Anspruch, dass noch lange, bevor der angerichtete Schaden verschmerzt ist, alle abenteuerlichen Pläne vergessen sind. Leider zumeist auch der einzige rationelle Rathschlag, der vor der nüchternen Kritik Stand hält und den schon der alte Chronist Ku en seinen nachfolgenden Landsleuten dringend nahe gelegt hat: Am Ferner die Dinge lassen, wie sie kommen, dagegen alle Kraft und alle Mittel auf Säuberung, Tieferlegung und Geradestreckung des Achenbettes verwenden, die gefährdeten Brücken abtragen oder höher legen und die Schutzbauten dort verstärken, wo sie voraussichtlich wirksam sind.

Walcher zählt bereits neun Vorschläge zur Verhinderung des Übels auf, die er zumeist selbst verwirft. Wenn wir die ganz unsinnigen, wie: Durchbohren oder Sprengen des Eisdamms, Einschiessen eines Kanals mit Kanonen oder Mörsern beiseite lassen, bleiben noch folgende, deren Unzweckmässigkeit kurz charakterisiert werden soll.

Uunaufführbare Projecte.

1. Überwölben des Rofenbaches auf die ca. 1200 m betragende Strecke, welche vom Eise bedeckt wird. Dieses Project konnte nur entstehen angesichts des Umstandes, dass der Bach den grössten Theil der Strecke in einer engen, 30—50 m tiefen Klamm fliest. Aber wie eng auch die Klamm dem Auge erscheint, so würde doch die Spannweite des Gewölbes des öfteren 50 m überschreiten müssen, wodurch — ganz abgesehen von den Baukosten — die nöthige Haltbarkeit gegenüber einer Druckbelastung von ca. 15 Atmosphären durchaus in Frage gestellt wird. Auch sind die enormen Unterhaltungskosten eines solchen Bauwerkes während der langen Zeit zwischen zwei Ausbrüchen in Rechnung zu ziehen.

¹⁾ Vergl. die Reproduction derselben in Fig. 2, S. 17.

²⁾ Genaueres über die letzten Rückzugsstadien veröffentlichen die genannten Autoren in einem Nachtrage zu dieser Schrift.

2. Klausenbauten, um das ausbrechende Wasser aufzufangen und seinen Abfluss zu regeln, oder um eventuell den Ausbruch des Sees gänzlich zu verhindern. Zur Errichtung eines wirksamen für mehrere Millionen Kubikmeter ausreichenden Stauwerkes fehlt es auch nach meiner Meinung an einer geeigneten Ortlichkeit im oberen Ötzthal. Möglicherweise liesse sich durch ein ganzes System staffelförmig übereinander angelegter Klausenbauten eine Regulierung des Ablaufes dieser enormen Wassermengen erzielen, aber es werden vielfach mangelndes Baumaterial, die Gefahr des Vermuhrens und nicht zuletzt die grossen Bau- und Unterhaltungskosten der Ausführung im Wege stehen. Sollte der Ausbruch durch ein Stauwerk reguliert werden, so könnte man denselben ebensogut verhindern, indem man den Damm knapp oberhalb der stauenden Eisbarriere anlegt, wodurch man die Bildung und Entleerung des Sees in der Hand hätte. Würde das künstliche Seebecken im Laufe der Zeit durch die Geröllführung der Ache ausgefüllt, so wäre der von Walcher empfohlene Ausweg praktisch erreicht: »den Seehohlraum mit Steinen auszufüllen«. Leider bedarf es dazu eines gegen 500 m langen und bis 100 m hohen Dammes. Stauwerke von noch grösserer Länge, wenn schon nur der halben Höhe, sind, namentlich in Indien,¹⁾ zu Bewässerungszwecken wiederholt ausgeführt worden und man hat nicht bloss einen starken Bach, wie die Rofener Ache, sondern einen Strom von der Wasserführung des Nil so hoch aufgedämmt, allein ausser den Kosten droht die Gefahr eines Dammbruches, die auch dann noch nicht abgewendet ist, wenn sich der Seehohlraum mit Schotter erfüllt hat.

3. Herstellung eines oberirdischen Abzugsgrabens, sei es durch Aus-hacken im Eis, sei es dadurch, dass man mittels eines beweglichen Rinnwerkes das Wasser eines benachbarten Baches aus grösserer Höhe auf das Eis fallen und so allmählig einen Kanal ausnagen lässt, wie dies zuerst Venetz am Gietrozgletscher versucht hat. Dieses billigste Project hat den Nachtheil, dass es dann, wenn die Gefahr am grössten ist, nämlich zu Anfang wegen der gänzlichen Unzugänglichkeit des Ferners, unausführbar wird. Hat sich aber der Ferner soweit consolidiert, dass man ihn betreten kann, dann pflegt das überfliessende Wasser die Arbeit des Rinnwerkes gratis zu besorgen und die Gefahr eines verderblichen Ausbruches ist dann ohnedies gering. Nur einmal, im Juni 1848, ist der See bei ziemlich consolidiertem Ferner noch verheerend ausgebrochen.

4. Herstellung eines unterirdischen Abzugskanals (Stollen) durch die Felsen der Zwerchwand. Dieses Project ist zweifelsohne das beste und wurde von den bergmännischen Sachverständigen wie Ramblmayer 1678 und Stotter 1846, wenn nicht befürwortet, so doch mit Achtung behandelt. Ersterer schätzte die Bauzeit auf 16 Jahre und die Kosten auf 30 000 fl. Beide Umstände und die Furcht vor möglicher Versandung und Vereisung oder Verlegung der Mundlöcher durch Lawinen bestimmten ihn zur Ablehnung. E. Richter hat sich den letzteren Bedenken angeschlossen, aber, wie ich glaube, mit Unrecht. Der Stollen kann bei 1600 m Länge 80 m Gefall haben, was eine Versandung ausschliesst. Eine Vereisung ist gleich unwahrscheinlich, falls der Bach, der auch im Winter genügend Wasser führt, dauernd und nicht etwa nur zu Zeiten der Gefahr den Stollen passiert. Eine Verlegung des oberen Mundloches durch Lawinen ist sicher nicht bedenklicher als die jahraus jahrein an Dutzenden von Stellen vorkommende Verlegung des natürlichen Bachbettes; eine solche des unteren würde, falls das obere offen ist und kein Wasser fliesst, zwar die Bedingungen für eine Eishöhle schaffen und darum bedenklich sein, aber das fliessende Wasser wird eine solche einseitige Versperrung bald aufheben.

¹⁾ Clerke, Sadasewjee and Jacob: On Impounding-reservoirs in India. Proceedings of The Institution of Civil Engineers. Vol CXV Session 1893—94. Part. 1.

Weder die Dauer der nothwendigen Arbeitszeit, noch auch die Kosten würden heutzutage ein wesentliches Hinderniss für die Herstellung des Stollens sein, falls sich derselbe im festen Fels führen liesse. Da dies aber nach Lage der Sache nicht wahrscheinlich ist, vielmehr faules Gestein zu erwarten steht, so erhöhen sich Anlage- und Unterhaltungskosten des Stollens ins Unbestimmte.

Bei Beurtheilung aller dieser Vorschläge ist im Auge zu behalten, dass es sich um Abwendung eines nach den bisherigen Erfahrungen etwa alle 80 Jahre ein-tretenden Schadens von 200 000 fl. handelt. Dass es trotz der geringen Zahl der betheiligten Bevölkerung¹⁾ möglich wäre, auf genossenschaftlicher Basis in dem langen Zeitraum von 80 Jahren die Ansammlung eines Kapitals zu bewirken, das für die Heilung der verursachten Schäden ausreicht, lehrt eine einfache Rechnung. Würde doch eine, für die arme Bevölkerung allerdings schon recht empfindliche Kopfsteuer von 10 kr. pro Jahr zu diesem Ziele führen. Ausserdem lässt sich der zu erwartende Schaden durch geeignete Regulierung des Flussbettes sehr verringern, namentlich dann, wenn man bei Neuherstellung von Strassen, Brücken und Gebäuden die Grösse des möglichen Hochwassers richtig abschätzt und berücksichtigt. Verluste an Menschenleben sind bei einiger Vorsicht durch Einrichtung eines Warnungsdienstes leicht zu vermeiden; sie sind schon bisher so gut wie vermieden worden.²⁾

Nützliche Maass-
regeln zur Linde-
rung des Scha-
dens.

Wichtig ist dagegen, dass die Überwachung des Ferners nicht vernachlässigt werde, und zwar nicht bloss aus wissenschaftlichem sondern auch aus eminent praktischem Interesse. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass das sorgfältige Studium des nächsten Vernagtausbruches uns Material liefern wird, um einen künftigen mindestens fünf Jahre vorher mit Sicherheit vorauszusehen. Man hat dann reichlich Zeit, alle Vorbereitungen ohne Überhastung zu treffen.

Am Schlusse dieser Ausführungen seien noch die zusammenfassenden Sätze angeführt, in denen E. Richter seiner Meinung über künftige Maassregeln gegen die Fernerkatastrophen Ausdruck verleiht und denen ich mich durchaus anschliesse. Er sagt: »Mein Rath gienge also, wenn ich einen neuen Vernagtausbruch erleben würde, dahin: keine Klausen, keine Kanäle, überhaupt keine Arbeiten am Gletscher, sondern dort nur eine genaue Beobachtung im wissenschaftlichen und praktischen Interesse, telegraphische Signalisierung der Ausbrüche; hingegen eine solche Herrichtung des Bachbettes, dass es das kommende Hochwasser aufzunehmen vermag; daher Enteignung und Entschädigung der Besitzer unhaltbarer Grundstücke schon vor dem Ausbruch; keine vergeblichen Anstrengungen für Unhaltbares, schliesslich Entschädigung der doch in Verlust Gefallenen.«

¹⁾ Das ganze Ötzthal zählte im December 1880 5702 Einwohner gegenüber 6530 im Jahre 1847.

²⁾ Nach Ausweis der Akten sind nur zwei Menschenleben den Vernagtferner-Ausbrüchen zum Opfer gefallen: ein Kind, das in der Wiege ertrank, und ein fahrender Bursche, der zu Meran durch das Feuer hingerichtet wurde, weil er »mit teifl's hilf« den Fernerausbruch und den Lengenfeldern »ein Wetter auf zutreffende Zeit« gemacht hat. Beides im Jahre 1678.

II. Theil.

Die Vermessung des Vernagtfengers und die Herstellung der Karte.

Ältere und neuere kartographische Darstellungen des Vernagtfengers.

Die Akten über die Vernagtausbrüche berichten uns, dass bereits im Jahre 1678 der von Brixen ins Ötzthal gesandte Kapuziner einen »einfältigen Abriss« des Ferners und Stausees vom Plattein aus, natürlich à vue, aufgenommen hat. Ein Gutachten des Bergrichters und Waldmeisters zu Schwaz, Jeremias Ramblmayer, vom Jahre 1681 ist bereits von einem »ausführlichen Entwurf bereegten Ferners jetziger Distanz, Grösse und Beschaffenheit . . . sowohl zu Papier, als in wirklichem Modell« begleitet. Dagegen hat die Schrift des P. Jos. Walcher 1773 keine Karte, sondern nur höchst unvollkommene Abbildungen. Von der Sachlage bei diesem zweiten Ausbruch wurde aber wiederum ein Modell hergestellt, das jedoch wie das frühere, weil vermutlich in den Akten nicht unterzubringen, verloren gieng. Die Tiroler Karten von Burglechner 1611 und Anich 1771 verzeichnen bereits den Vernagtferner; erstere zwar nur durch ein aufgeklebtes bedrucktes Blättchen, welches eine aus dem Bericht des Bauschreibers Jäger übernommene Notiz über den ersten Ausbruch enthält; letztere giebt die Umrisse des Stausees, der bis zum Hintereisferner reicht, mit dem Beisatz: »Gewester See, so 1678, 1679 und 1681 völlig ausgebrochen und 1771 sich wieder gesammelt.«

Hauslab's Auf-
nahme v. Jahre
1817.

Eine wirkliche kartographische Darstellung in unserm heutigen Sinne hat der Vernagtferner aber erst 1817 durch den bereits erwähnten Fähnrich Hauslab, den später bekannt gewordenen Kartographen erfahren. Die Aufnahme im Maasse 1 : 28 800 (die Grundlage für die alte Specialkarte in 1 : 144 000) zeichnet sich durch grosses Geschick in der Darstellung aus; sie kann als typisches Beispiel einer damaligen tüchtigen Hochgebirgsmappierung auf Grund reiner Schraffenmanier und ohne Benützung des Katastralgerippes gelten. (Vergl. Fig. 1.) Ihre Mängel liegen in der Steifheit der Schraffenführung und in der Verkennung des Zusammenhangs zwischen Schraffenrichtung und -stärke, der der heutigen Generation von Kartographen durch das Schraffieren nach Höhencurven unbewusst in Fleisch und Blut übergegangen ist. Ferner fehlt naturgemäss das Interesse für die eigentliche Firnregion. Bis zum Hintergrasl und Schwarzkögle erstreckt sich die sorgfältige Terrainzeichnung; was darüber hinausgeht ist ganz schematisch als gewellte Schneefläche behandelt; keiner der zahlreichen Felsäste, welche den Firn gliedern, hat eine richtige Darstellung gefunden. Dagegen ist der Gletscher mit seinen Moränen sehr verständnissvoll behandelt.

Karten v. Stotter,
Schlagintweit u.
Sonklar.

Das bekannte Buch von Stotter über den Vernagtausbruch vom Jahre 1845–46 enthält eine schlechte Copie in 1 : 57 600 der Hauslab'schen Aufnahme, oder wahrscheinlicher der nach ihr ziemlich schematisierten Specialkarte, welche nach den damaligen Ereignissen ergänzt wurde. Die Ergänzungen sind nicht immer den Angaben des Textes entsprechend und verrathen eine durchaus ungeübte Hand.

Ein ganz ähnliches Urtheil verdient die Karte, welche dem Werke der Gebrüder Schlagintweit über die physikalische Geographie der Alpen beigegeben ist. Ihre Darstellung des Vernagtferners ist unvereinbar mit dem Texte und mit den heutigen Wahrnehmungen an den Moränenspuren. Die Ergänzungen im Firnsfeld,

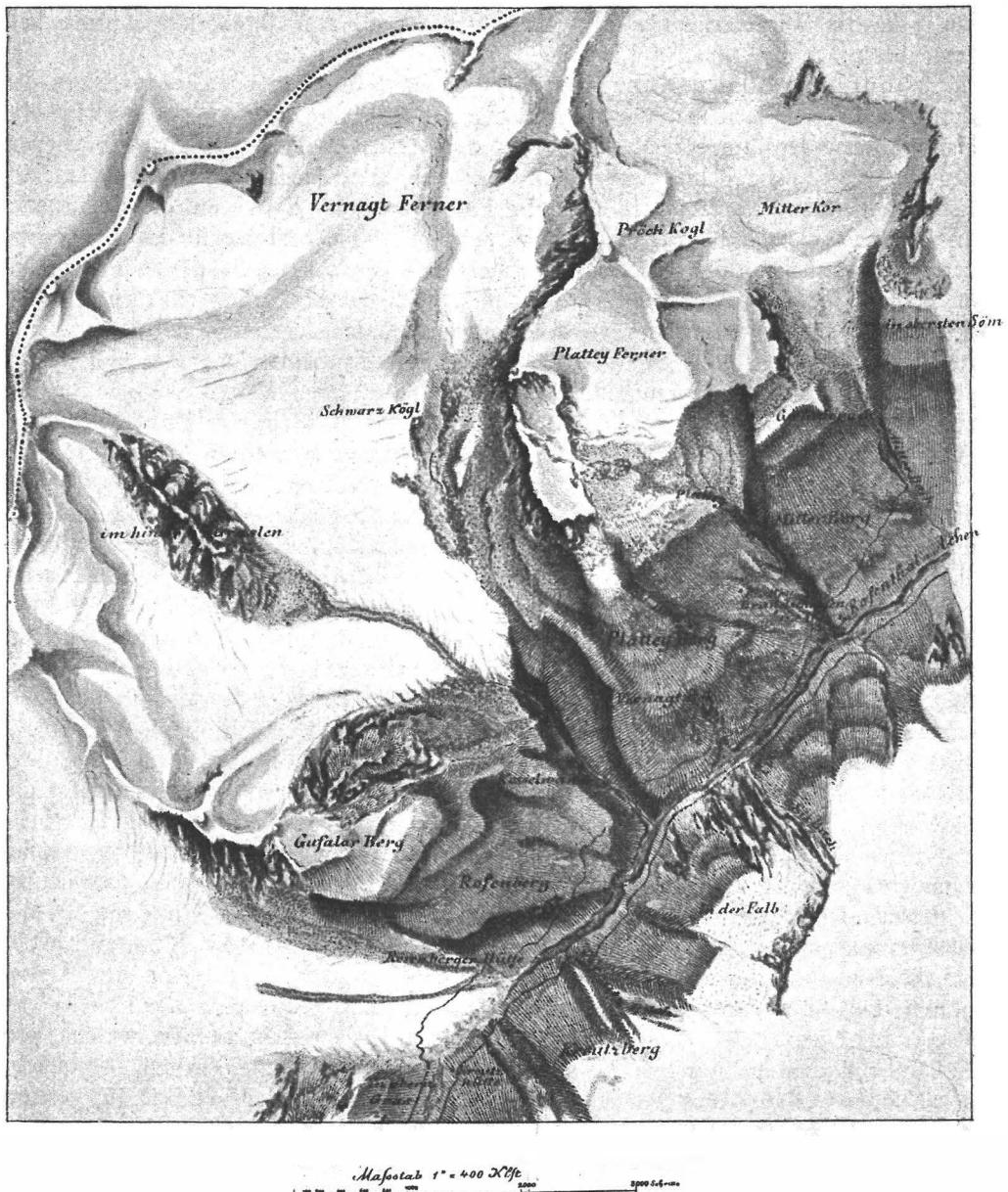


Fig. 1. Hauslaß's Aufnahme des Vernagtferners vom Jahre 1817. Red. auf 1:50000.

welche die Verfasser an der alten Specialkarte angebracht haben, sind werthlos; die dort eingetragenen Spaltensysteme konnten unmöglich existieren, da sich an ihrer Stelle Felsäste und Ähnliches befindet. Beide Karten enthalten vereinzelte Höhenangaben nach Barometermessungen, über welche später zu reden sein wird. Der

urkundliche Werth der ziemlich zahlreichen auf den Vernagtferner bezüglichen Illustrationen des letztgenannten Buches ist kaum höher als jener des Walcher'schen zu taxieren; sie können Fernerstehenden ein leichteres Verständniss des Textes gewähren, lehren aber dem Eingeweihten schon deshalb nichts Neues und Sichereres, weil alles, was nicht Eis ist, mit einer Gleichgültigkeit oder Freiheit behandelt wird, die das Wiedererkennen der Stelle, von der die Aufnahme stattgefunden hat, ausschliesst.

Sonklar's Atlas der Ötzthaler Alpen enthält eine flott aussehende Skizze der Zunge des Vernagtferners ohne Maasstabangabe (vielleicht 1:14 400), in welcher die Hammerform der Zunge beim Hochstand zum ersten Male ziemlich richtig wiedergegeben ist. Leider fehlt ausser dem Maassstab auch jedes erkennbare Detail des eisfreien Terrains, so dass man über die Einordnung der Skizze in die Karte ganz im Unklaren bleibt. Sonklar's eigene Verwerthung der Skizze in der Übersichtskarte der Ötzthaler Alpen in 1:144 000 steht mit dem Augenschein von heutzutage in grellem Widerspruch. Sie nimmt ein Umfliessen des Schwarzkögle durch den Ferner an, wovon nach Lage der Moränen und der Vegetationsvertheilung keine Rede sein kann. Dunkel ist auch die Bedeutung der blauen über Eis und Schutt verlaufenden Linien. Structurbänder, wie auf den anderen Karten, können sie unmöglich vorstellen; sie scheinen nach ihrem Verlauf vielmehr Horizontalcurven oder sogenannte Formenlinien zu sein, obwohl sich eine Andeutung davon im Texte nirgends findet und diese Art der Terrainzeichnung damals nicht üblich war. Wieviel an der Pracht des Sonklar'schen Atlases der Ötzthaler Alpen der Autor, der in der Vorrede genannte Professor der Situationszeichnung an der k. k. Militärakademie zu Wiener-Neustadt, Oberlieutenant v. Topolnicki und das Gothaer Institut von Justus Perthes Antheil haben, kann Jeder leicht ermessen, der die Karten mit der Natur oder der neuen Mappierung vergleicht und die Zeit im Auge behält, die Sonklar auf das Skizzieren an Ort und Stelle verwenden konnte.

Originalauf-
nahme des k. u.
k. militär-geogra-
phischen Instituts
vom Jahre 1871.

Eine wirklich originale Leistung bietet erst wieder die Map pierung in 1:25 000 zur neuen Speciakarte aus den Jahren 1871—72 (Fig. 2). Es ist dies eine graphische Aufnahme mit kleinem Messtisch (Detaillierbrett) und Diopterlineal, ausserdem mit einem separaten Höhenmesser von 5' Winkelangabe. Als Grundlage dient die reduzierte Katastralaufnahme. Diese selbst basiert auf einer ziemlich weitmaschigen Triangulation mit dem Theodolit aus den Jahren 1851—57, welche dann eine graphische Ergänzung mit dem Messtisch im Maassstabe 1:14 400 erfuhr. Dieses dichtere Netz wurde fünfmal vergrössert und lieferte die Grundlage für die Katastralmappen in 1:2880.¹⁾ Im Hochgebirge ist der Werth der Katastralmappen für die Neuaufnahme nicht sehr gross, da sie ausser den Netzpunkten nur Alpenhütten und die seltenen und unbestimmten Flurgrenzen enthalten, allein sie liefern eben doch eine Anzahl von Fixpunkten, die, wenn sie richtig benutzt werden, ein Anhäufen der Fehler unmöglich machen. Die Katastralmappen enthalten, wie üblich, keine Höhen, dagegen sind die Höhen der trigonometrischen Punkte des ersten Netzes bei der Triangulierung bestimmt worden. Bei der Neumappierung wurde das Terrain im Felde in Schraffen skizziert, zu Hause wurden die Höhen aus den gemessenen Winkeln und den graphisch ermittelten Positionen gerechnet und zur Construction der Höhencurven von 100 m Distanz benützt. Diese gaben wiederum die Grundlage der endgültigen Terrainschraffierung. Diese neue Originalaufnahme hat wie überall, so auch im Gebiete des Vernagtferners die früheren Karten weit überholt, schon dadurch, dass sie den unzugänglichen Theilen des Gebirges wenigstens

¹⁾ Vergl. hiezu Mittheilungen des k. u. k. militär-geographischen Instituts in Wien, Bd. I, S. 77.

in annähernd gleicher Weise gerecht zu werden versucht, wie den begangenen. Sie bringt eine in allen wesentlichen Punkten richtige Gliederung des Firnfeldes, die Lage aller hervorragenden Gipfel und der von ihnen ausgehenden Felsäste. Die Terraindarstellung in Schraffen und Isohypsen ist schlicht und derb, vielfach ungelenk, ohne viel Detail, aber klar und ehrlich, insofern jedes dargestellte Detail verständlich ist und auch ein Analogon in der Natur findet. Die Cotierung ist der Zahl und der Genauigkeit nach sehr mässig. Der mittlere Fehler einer Höhenkote berechnet sich aus 18 Vergleichungen mit unserer Aufnahme zu $\pm 30\text{ m}$. Gröbere Verstösse in der Situation sind nicht selten, so ist z. B. das Schwarzkögle um 350 m nach Westen vertragen, der Kamm vom Fluchtkogl zur Schwarzwandspitze auf mehr als 1 km Länge um 2—300 m nach Westen verschoben, die Rinne der Rofener Ache um 200 m gegen die Zwerchwand zu ver-

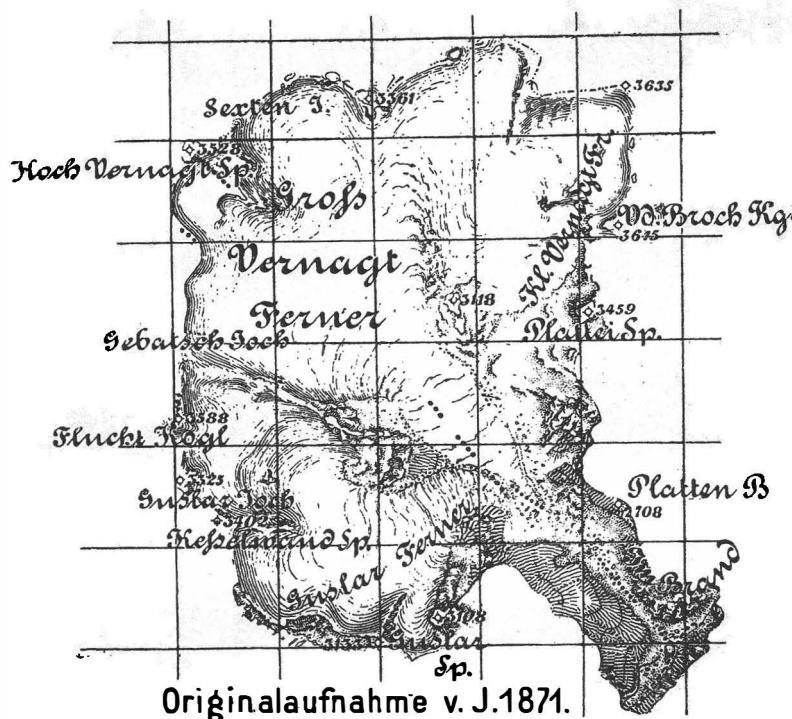


Fig. 2. Reproduction nach der Specialkarte der österreichisch-ungarischen Monarchie. M. 1 : 75 000.

legt und Ähnliches. Dass die Lage der Isohypsen in vielen Theilen der Karte, namentlich auf den flachen Firnfeldern, Fehler von vielen hundert Metern aufweist, kann nach dem Ergebniss der Höhenmessung nicht befreunden.¹⁾ Die durchschnittliche Leistung eines Mappeurs betrug 290 km² pro Campagne (Mittheilungen des k. u. k. militärgeogr. Inst., B. I, S. 40).

Nach der Originalaufnahme haben K. Haushofer und Hoffmann eine farbig ausgeführte Specialkarte der Ötzthaler Alpen in 1:50 000 bearbeitet. Sie giebt nicht nur den Inhalt der Originalaufnahme fast vollständig wieder, sondern zeichnet sich

¹⁾ Die Isohypsen sind, soweit sie auf Eis, Fels und Schutt verlaufen, in die Specialkarte nicht aufgenommen, wohl in richtiger Würdigung ihres inneren Wertes. Die oben erwähnten Positionsfehler ergeben sich beim Vergleich der Fig. 2 und 5, welche ebenso wie die Fig. 3 und 4 mit entsprechenden Quadratkilometernetzen versehen sind.

gegenüber der photographischen Reproduction der Originalaufnahme durch Klarheit der Höhenkurven und Zahlen, sowie durch vielfache Verbesserung der Nomenklatur vortheilhaft aus. (Diese Karte erschien als Beilage zur Zeitschrift des A.-V. 1873—78).

Reambulierung
der Original-
aufnahme vom
Jahre 1888.

Die Mängel der Neumappierung veranlassten das k. u. k. militärgeographische Institut Ende der sechziger Jahre eine sogenannte Reambulierung der Aufnahme vorzunehmen, die eigentlich nur eine Ergänzung der inzwischen eingetretenen Veränderungen und eine Ausmerzung der dabei entdeckten Fehler bezweckte, sich für Tirol aber zu einer vollkommenen Neuaufnahme gestaltete. Im Bereich des Vernagtferners fand sie 1888 gleichzeitig mit unserer ersten Campagne statt. Die Mappeure arbeiteten genau nach der gleichen Methode, wie die von 1870, nur mit einem verbesserten Höhenmesser von 1' Winkelablesung. Auf ihrem Messtisch hatten sie eine wegwischbare Blau-

copie der ersten Map-
pierung, in welche sie
die Neuaufnahmen ein-
trugen. Das Terrain
sollte, soweit es cultur-
fähig ist, mit Höhen-
curven von 20 m Distanz
dargestellt werden und
möglichst viel Detail ent-
halten. Da unser Gebiet
durch die Grenze der
Specialkartenblätter Söl-
den - St. Leonhard und
Nauders getheilt wird,
so fiel dasselbe zwei ver-
schiedenen Bearbeitern
zu, die ihre Aufgabe in
sehr verschiedener Weise
durchführten. Der Map-
peur des rechts gelegenen
Gebietes hat, ohne die
Fehler in der Situation
der früheren Aufnahme
auszumerzen, die Lücken
derselben durch reiches,
ja überreiches Detail aus-

geföllt, das, obwohl im Einzelnen nicht einwurfsfrei, dem Character des dargestellten Terrains vorzüglich angepasst ist. Sein Nachbar hingegen begnügte sich, zwischen die Hundertmetercurven der alten Aufnahme gelegentlich Zwanzigmetercurven einzuschalten und die Isohypsensführung im Firnfeld und die Felszeichnung etwas zu modifizieren. Nicht einer der groben Situationsfehler der älteren Aufnahme hat eine entsprechende Correctur erfahren, ja es sind eine erkleckliche Zahl von Verschlechterungen zu constatieren, so z. B. die Darstellung des Hintergrasl, des Kahres an der Ostseite des Schwarzkögeles, des Firnplateaus an der Hochvernagtspitze, die Ausmerzung eines auf der älteren Aufnahme und in Natura vorhandenen, 800 m langen und bis zu 200 m hohen Felsastes, der vom Hintern Brochkogl in der Richtung gegen das Schwarzkögele zieht und die Weglassung eines 500 m langen, 70 m hohen Eisbruches an der Westseite des genannten Gipfels. Die Zahl der gemessenen

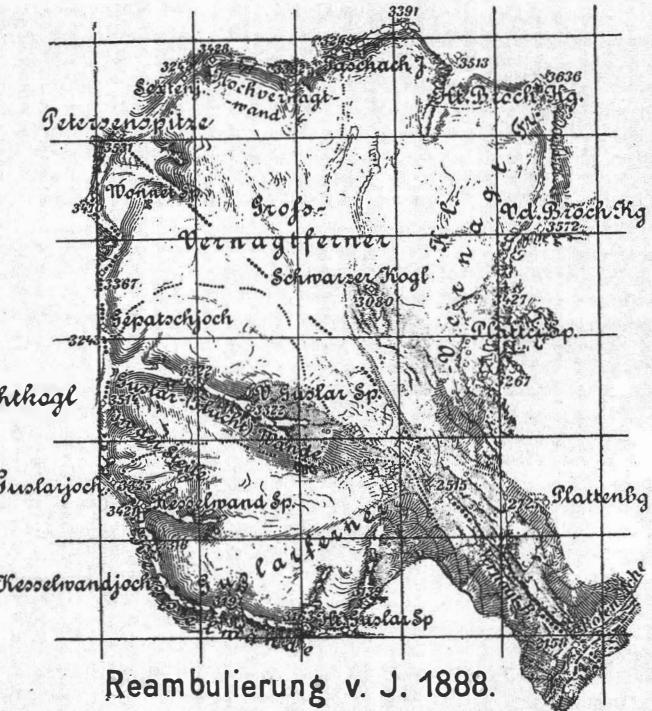
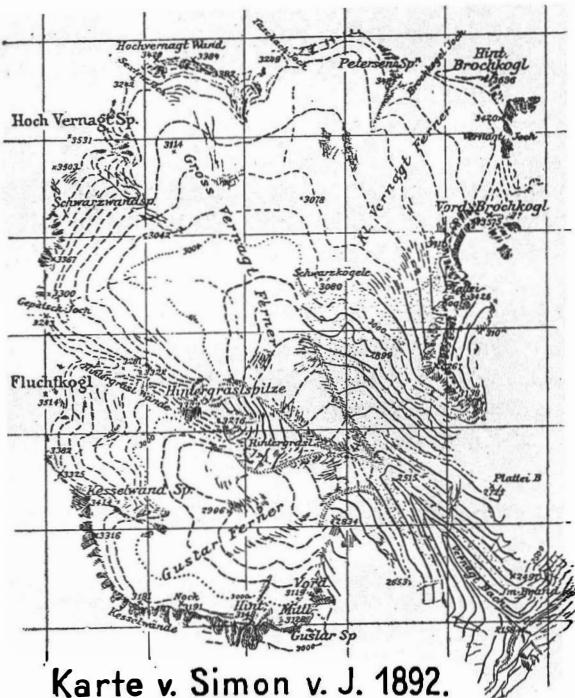


Fig. 3. Reduction in 1:75 000 nach der topogr. Detailkarte der Ötztaler Alpen.

Höhen hat eine grosse Steigerung erfahren, die Genauigkeit eine weit geringere. Aus 34 Vergleichungen ergiebt sich der mittlere Fehler nunmehr zu ± 21 m. Die Nomenklatur des Gebietes ist durch Verwechslung von Hochvernagtspitze mit Petersenspitze, von Schwarzwandspitze mit Wonnetberg, von Hintergraslkamm mit Guslar-(Flucht)-wände, von Hintergraslspitze mit Vorderguslar-(Schmidt)-Spitze und von Mittlerer Guslarspitze mit Hinterguslarspitze in eine heilose Verwirrung versetzt worden. (Fig. 3.)¹⁾ Bei der Reambulierung leistete ein Mappeur durchschnittlich 300 km² pro Campagne.

Drei Jahre später, im Jahre 1891, als die Resultate unserer Vernagtfernervermessung noch lange nicht fertig vorlagen, ist unser Gebiet von Neuem bearbeitet worden, gelegentlich der Herstellung einer neuen Ötzthaler Karte für den D. u. Ö. A.-V. durch den Topographen S. Simon aus Interlaken. Herr S. Simon gehört zweifellos zu den begabtesten Felsdarstellern der Gegenwart und er hat in seinem Riesenrelief der Berner Alpen einen glänzenden Beweis seiner Fähigkeit in der Terrain nachbildung geliefert. Auch die von ihm bearbeitete Ötzthaler Karte enthält zahlreiche Proben seiner künstlerischen Fertigkeit. Für den Vernagtferner ist leider nichts davon abgefallen. Die unbedeutenden Felspartien dieses Gebietes und die vergleichsweise armen Formen der Ferner boten kein dankbares Object für seinen Griffel. Min hat in der Simon'schen Karte missverständlichweise



Karte v. Simon v. J. 1892.

Fig. 4. M. 1:75000.

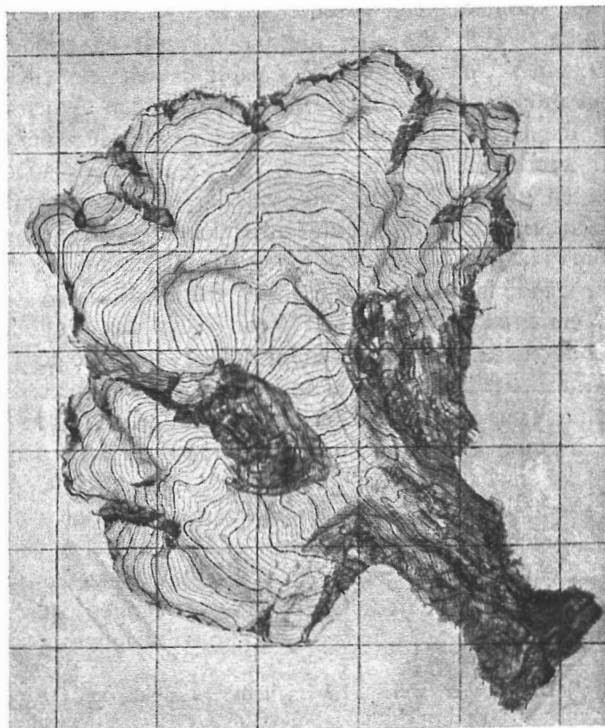


Fig. 5. Reduction der Karte von Finsterwalder auf 1:75000.

¹⁾ Die Nomenklatur ist richtig auf Fig. 4, welche mit Fig. 3 zu vergleichen ist.

eine photogrammetrische Neubearbeitung des Hochgebirges angenommen. Von einer solchen kann nach der auf die Aufnahme und Zeichnung verwendeten Zeit keine Rede sein. In Bezug auf Situation und Höhennetz sich aufs Engste der reambulierten Originalaufnahme anschliessend, hat Simon die Fels- und Gletscherpartien nach seinen zahlreichen photographischen Gipfelaufnahmen neu gezeichnet, ohne sie geometrisch zu konstruieren, was in der kurzen Zeit unmöglich gewesen wäre. Für den Vernagtferner müssen ihm aber auch die photographischen Bilder gemangelt haben, sonst wäre es unverständlich, dass alle Auslassungen der Reambulierung auf seiner Karte sich wiederfinden. Auch bei der Einschaltung der 50 m Curven ist kein Fortschritt gegenüber der Militärmappierung zu erkennen und in der Herabdrückung des trotzigen Felsklotzes »Schwarzkögle« zu einem halbverfirnten Schutt-rücken, in der Auslassung jeglichen charakteristischen Details an den Westhängen des Plattekogls und in der felsendurchsetzten Schlucht des Vernagtgrabens sind weitere Schritte geschehen, die von der Natur und der schlichten Richtigkeit der nichtreambulierten Originalaufnahme abführen.¹⁾

Die Feldarbeit bei der Neuvermessung des Vernagtferners.

Ziel der Neuvermessung.

Für die wissenschaftliche Erforschung des Vernagtferners sind alle bisherigen Aufnahmen unzureichend, da sie die wichtigsten und grundlegendsten Maasse, so vor Allem den Cubikinhalt des seit dem letzten Maximum abgeschmolzenen Eis-körpers nicht annähernd genau zu entnehmen gestatten. Hier konnte überhaupt nur eine Specialaufnahme des Ferners und seines Vorlandes abhelfen. Wie genau eine solche Aufnahme sein soll, das lässt sich von vornehmerein, selbst wenn man nur die momentanen wissenschaftlichen Bedürfnisse im Auge hat, nicht leicht bestimmen. Will man aber für alle Zukunft Ausreichendes schaffen, so kommt man bald zu der Überzeugung, dass dann das Beste vielleicht eben gut genug ist. Nur Rücksichten auf die zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte und die Kosten werden dann die Grenze bestimmen. Sicherlich würde eine ganz exakte Messtischaufnahme in 1:25000 mit 20 oder selbst 50 m Äquidistanz schon sehr vielen, ja den meisten Zwecken genügen, allein wo sind die Meister zu finden, die einer solchen Aufgabe gewachsen sind und sich ihr unterziehen wollen? Wie wenig wäre eine Karte in diesem kleinen Maassstabe geeignet, gleichsam Jedermann zur Eintragung neuer Fernerstände und Vergleichung mit früheren zur Grundlage zu dienen? Dazu gehört eben ein grosser Maassstab. Wenn selbst das Original hiezu ausreichte, so würden Reproductionen, die nothwendig mit gewissen Fehlern behaftet sind, gewiss versagen. Wie misslich wäre es, wenn man sich bei einer späteren Untersuchung genöthigt sähe, einzelne Theile der Karte etwa im zehnfachen Maassstabe zu bearbeiten, und dann nur an graphisch bestimmte Fixpunkte anknüpfen könnte? Wie viel leichter hat man es in diesem Falle, wenn eine grössere Zahl durch Coordinaten gegebener Punkte zur Verfügung steht, die man sich jederzeit in beliebigem Maassstab bis 1:1000 auftragen kann? Solche Überlegungen, im Verein mit vielen andern drängen mit Nothwendigkeit zu einer trigonometrischen Aufnahme trotz der mit ihr verknüpften Rechenlast.

Entwurf des trigonometrischen Netzes.

Bei den früheren Gletschervermessungen, die immer nur einige Quadratkilometer umfassten, haben wir unser trigonometrisches Netz aus einer selbst-

¹⁾ Die Mängel, welche hiernach der reambulierten Originalaufnahme und der Simon'schen Karte anhaften, sind nicht etwa bloss im Gebiet des Vernagtferners so auffallend. Wie aus der Aufnahme des Hochjochfirnes von Blümcke und Hess (Zeitschr. des Alpenvereins 1895) hervorgeht, treten sie dort in gleicher Weise zu Tage, und dass es am Gepatsch- und Langtauferner ebenso ist, hat mich der verflossene Sommer gelehrt.

gemessenen Basis von 1—200 *m* Länge heraus entwickelt. Dies schien uns hier am Vernagtferner in Anbetracht der Grösse von circa 23 *km*² des Vermessungsgebietes, bei den gewaltigen, bis zu 1600 *m* betragenden Höhendifferenzen und bei dem voraussichtlichen Mangel an geeigneten ebenen Plätzen zur Basismessung ungeeignet, und wir suchten uns den Maassstab zur Karte durch Anbindung unseres trigonometrischen Netzes an trigonometrische Punkte der Landesvermessung zu sichern. Als solche hatten wir in erster Linie den Weissen Kogl und die Thalleitspitze und in zweiter Linie die Krahwand ins Auge gefasst, nachdem von den wenigen übrigen trigonometrischen Punkten des Gebietes keiner, sei es wegen der Lage, sei es wegen dauernder Schneedeckung und voraussichtlicher Signallosigkeit hiezu geeignet erschien. Von der Linie Thalleitspitze—Weisser Kogl ausgehend, sollte die Vordere Guslarspitze und der Plattekogl bestimmt werden, welche wiederum als Ausgangspunkte für die Triangulierung des Firnfeldes zu dienen hatten. Die beiden Punkte Thalleitspitze und Vordere Guslarspitze würden dann durch Vermittlung je eines Punktes am Hintergrasl und am Plattei die Stützpunkte für eine engmaschige, den Graben des Vernagtbaches umspannende Dreieckskette geboten haben, welche von der Zwerchwand bis zum Schwarzkögle reichen sollte. Zur Triangulation standen uns zwei Theodolite von Ertel & Sohn mit 15 *cm* Horizontalkreis und 12 *cm* Vertikalkreis zur Verfügung; der eine, der forstlichen Versuchsanstalt der k. Universität München¹⁾ gehörige, hatte 30" Ablesung am Horizontalkreis und 1' am Vertikalkreis; der zweite vom Centralausschuss des D. u. Ö. Alpen-Vereins für die Vermessung eigens beschaffte 10" an beiden Kreisen. Mit ersterem wurde 1888 von Dr. Blümcke die letzterwähnte Dreieckskette gemessen. Es wurden sämmtliche Dreieckswinkel gemessen, ebenso alle Höhenwinkel zwischen den Endpunkten der Dreiecksseiten in beiden Richtungen. Als Signale dienten 2 *m* hohe, 8 *cm* starke Stangen mit weiss-rothen Fahnen von ca. 1 *qm* Grösse. Die trigonometrischen Punkte sind meistens durch ein in den Felsen oder einen grossen Stein gemeisseltes Loch und rothe Farbe (Mennige, da Zinnober an der Sonne rasch ausbleicht) dauernd bezeichnet. Ein Steinbau erhält die Stange in senkrechter Stellung über dem bezeichneten Punkte. Der zweite Theodolit diente zum Anschluss an das Netz der Landesvermessung. Auf den Punkten Weisser Kogl und Thalleitspitze waren von Seiten der reambulierenden Offiziere die trigonometrischen Signale, hier eine 4 *m* hohe starke Stange mit gekreuzten Schindeln am Ende, dort ein massiver Steinbau mit tischförmiger Platte neu errichtet worden, was uns zu grosser Beruhigung allenfallsiger Zweifel an der Identität der zu signalisierenden und der früher gemessenen Punkte gereichte. Die Punkte Vordere Guslarspitze und Plattekogl hatten wir selber mit starken roth angestrichenen Stangen von 2 *m* Länge, die in Felsspalten fest verkeilt waren, signalisiert. Herr Dr. Blümcke mass an den Punkten Thalleitspitze und Weisser Kogl die Winkel nach der Vorderen Guslarspitze und zwei Punkten (2470·0 und 2661·7)²⁾ der kleinen Dreieckskette, von welchen er vorher bereits die Thalleitspitze anvisiert hatte. Die Messungen waren wenig vom Wetter begünstigt und Dr. Blümcke musste auf der Thalleitspitze vier Stunden im Nebel ausharren, ehe die nothwendigsten Visuren erzielt werden konnten. Durch die späteren Messungen an der Vorderen Guslarspitze wurde das wichtige Anschlussdreieck mit ganz befriedigendem Erfolg geschlossen. Eine mit grosser Mühe gewonnene

Instrumente zu
Triangulation.

Signalisierung.

¹⁾ Herr Prof. Dr. R. Weber hatte uns denselben in dankenswerther Weise zur Verfügung gestellt.

²⁾ Ich gebrauche im Folgenden öfter die Höhenzahlen zur Bezeichnung namenloser Signalpunkte.

Messungsreihe auf dem Platteikogl bezog diesen Punkt, der bisher wegen Nebel nicht angezielt werden konnte, in das Netz ein und ergab Bestimmungsmaterial für die Punkte: Kesselwandspitze, Hintergraslspitze, Schwarzwandspitze, Vernagtwand, Petersenspitze, Mitter- und Hinterguslarspitze, welche sämmtlich Steinmänner trugen, die zumeist von früheren Besteigern herrührten. Eine zwölfjährige Regenperiode hinderte uns an jeglicher weiterer Messung. Nachdem dieselbe vorüber war, wurde das Hochjochhospiz in das Netz einbezogen und die Messungen auf der Vordern Guslarspitze wiederholt, da einige davon wegen schwieriger Herstellung sicherer Instrumenten-
stande.

Abgesehen davon, dass man die Stativbeine nicht in den Boden rammen kann und man beim Herumtreten immer in Gefahr ist, die Steine zu bewegen, welche die Stativbeine tragen, bleibt der Boden von selber keinen Moment in Ruhe, sobald die Temperatur über 0° ist oder die Sonne ihn bestrahlt. Der Eisbeton, der die tieferen Schichten bildet, ist dann fortwährenden Umlagerungen ausgesetzt, die die Libellen des Instrumentes nie zur Ruhe kommen lassen, auch wenn man sie noch so sorgfältig vor Bestrahlung schützt. Dass unter diesen Umständen auch Steinpfeiler nichts nützen, falls sie nicht sehr tief fundiert sind, ist klar. Geschichtete, nichtgemauerte Steinpfeiler oder -Signale sind nach unseren Erfahrungen in hohen Regionen über 3000 m nur dann haltbar, wenn sie auf festem Boden stehen und trocken, vor Allem ohne Hinzukommen von Eis oder Schnee, gebaut sind. Eine ganz dünne Eiskruste an den Steinen genügt, um ein langsames Abgleiten der Steine aneinander und in kurzer Zeit den Zerfall des Baues herbeizuführen. Am 20. September schlossen wir die erste Campagne, welche uns 40 Tage am Hochjochhospiz festgehalten hatte. Ausser den erwähnten trigonometrischen Operationen hatten wir etwa 500 Punkte in den zugänglichen Theilen des Vernagtgrabens und am Fernerende tachymetrisch bestimmt und den unzugänglichen Rest photogrammetrisch aufgenommen.

Die bisherigen trigonometrischen Operationen gestatteten uns bereits, einen wenigstens annähernd richtigen Maassstab für die Dreieckskette des Vernagtthales zu ermitteln, die Coordinaten der Netzpunkte in einem noch willkürlich gewählten System zu berechnen und die 35 pothenotisch bestimmten Standpunkte für die Detailmessung und die photogrammetrische Construction einzupassen. Eine grobe Missstimmigkeit zwischen unsern Resultaten und denen der Katastraltriangulierung gab uns viel zu denken. Wir hatten den Höhenunterschied der trigonometrischen Punkte Thalleitspitze und Weisser Kogl, der nach der Katastraltriangulierung 9 m betragen sollte, zu nur 0,5 m gefunden, und unsere Bestimmung konnte, da in dem mit Vorder Guslarspitze gebildeten Dreieck alle Zenithdistanzen hin- und zurückgemessen waren, einem vernünftigen Zweifel nicht unterliegen. Leider war der Anschluss an einen dritten trigonometrischen Punkt der Landesvermessung, die Krahwand, wegen dauernder Wolkenbedeckung dieses Gipfels nie gelungen, so dass uns eine weitere Controle fehlte. Die daraus resultierende Unsicherheit der Ausgangshöhe unserer Vermessung zu heben, liessen wir uns im nächsten Jahre besonders angelegen sein.

Die Unterkunft auf dem Hochjochhospiz hatte, wie angenehm sie auch sonst war, den Nachtheil langer und ermüdender Wege zum Vermessungsrevier im Ge-

Zweifel an der
Richtigkeit der
Katastral-
triangulierung.

Verlegung des
Standquartiers
auf das Hinter-
grasl.

folge und gestattete daher keine rechte Ausnützung der kargen und unsicheren Arbeitszeit.¹⁾ Nachdem ein uns in Aussicht gestellter Hüttenbau auf dem Hintergrasl nicht zu Stande gekommen war, blieb uns, falls wir überhaupt in absehbarer Zeit mit der Vermessung des Firnfeldes fertig werden wollten, kein Ausweg als ein Zeltlager im Centrum des Vermessungsgebietes zu beziehen. Herr Dr. Blümcke und mein früherer Mitarbeiter am Suldenferner, Herr Dr. Hess, entschlossen sich, mit mir die Strapazen des Campierens an der Schneegrenze zu theilen. Nach viel Mühe, Ärger und Zeitversäumniss wurde auf dem Hintergrasl ein geräumiges Zelt errichtet und am 17. August 1889 konnten wir unsere trigonometrischen Operationen weiterführen. Sie umfassten ausser einer vorher ausgeführten Verlängerung der Dreiecks-kette gegen Rofen zu, Messungen auf mehreren Punkten derselben, behufs Anschluss an Thalleit-, Vordere Guslar- und Krahwandspitze, dann eine nochmalige Wiederholung der Triangulation auf der Vorderen Guslarspitze mit Einbeziehung der Krahwand, die nunmehr zur Vermeidung der früheren Übelstände excentrisch auf einem 9 m vom Signal entfernten Felskopf ausgeführt wurde. Alsdann folgte eine Neubestimmung des Schwarzkögle, welcher Gipfel als dritter Ausgangspunkt zum Einschneiden hervorragender Punkte des Firnfeldes dienen sollte. Dieser Theil der Triangulierung wurde, wie der vorjährige, im Wesentlichen von Dr. Blümcke ausgeführt. Den Schluss bildete eine von Dr. Hess und mir ausgeführte Messungsreihe auf der Kesselwandspitze, die sich wiederum auf die Punkte des Firnfeldes erstreckte und bei der ein weiterer trigonometrischer Punkt der Landesvermessung, der Glockthurm, mit einbezogen wurde. Ehe ich auf die weiteren Vermessungsarbeiten eingehe, will ich im Zusammenhang mit der Schilderung der Triangulierung noch Folgendes über die nach der Campagne erfolgte Verarbeitung bemerken. Diese bezog sich zunächst auf Prüfung des Anschlusses an den Punkt Krahwand. Das Resultat dieser Prüfung war ein durchaus negatives. Der eingemessene Punkt lag nach der Rechnung mehrere hundert Meter von der durch die Coordinaten der Landesvermessung definierten Stelle. Die nächste Erklärung war die, dass der Beobachter (Dr. Blümcke) eine falsche Spitze angezielt habe, obwohl dieselbe die höchste des Kammes und mit einem deutlichen Triangulierungszeichen, einem massiven, 2 m hohen Steinmann, versehen schien. Beim Weiterrechnen stellte sich auch ein ganz grober Fehler bei dem Punkte Glockthurm heraus, wodurch eine Unsicherheit in den Coordinaten der Ausgangspunkte Thalleit—Weisser Kogl unserer Vermessung wahrscheinlich wurde. Der Betrag derselben überschritt aber jedes zulässige Maass und war ausserdem aus dem vorhandenen Messungsmaterial nur ganz weitläufig und unsicher zu entnehmen. Erst der folgende Sommer brachte die Aufklärung. Bei der in diesem Jahre von den Herren Dr. Hess und Dr. Gg. Kerschensteiner begonnenen Vermessung des Hochjochferners wurde die Identität des von Blümcke angezielten Steinmannes mit dem Signal Krahwand des Katasters durch Besteigung der Letzteren sicher gestellt und von der Mittleren Guslarspitze, die in unser Netz einbezogen war, der Winkel nach Thalleit und Krahwand gemessen. Mit Hilfe dieses Winkels liess sich entscheiden, dass der Grund der Missstimmigkeiten in den fehlerhaften Coordinaten des Weissen Kogls gelegen war; man konnte mit genügender Sicherheit den enormen Betrag (— 24.2 m im Abrisse, + 20.6 m im Ordinate) des Fehlers feststellen und das trigonometrische Netz an die Punkte Thalleit, Krahwand und

Aufklärung über
den Zwiespalt
mit der Kataster-
triangulation.

¹⁾ Man vergleiche hiezu: Aus den Tagebüchern eines Gletschervermessers von Dr. S. Finsterwalder. Zeitschrift des Alpenvereins. Bd. XX. 1889, S. 259. Über den äusseren Verlauf beider Campagnen ist berichtet in: Die Vermessung des Vernagtferners I. und II. Mittheilungen des Alpenvereins 1888, S. 225, und 1889, S. 243.

Glockthurm anschliessen. Eine nachträgliche Rechtfertigung des Verfahrens gewährten Messungen, welche Herr Dr. Blümcke im Jahre 1894 bei der Triangulation des Hintereisferrers auf einem weiteren trigonometrischen Punkt der Landesvermessung »Im hintern Eis«, der noch das unberührte alte Steinsignal trug, nach den Punkten Thalleit- und Kesselwandspitze anstelle.

Die bisher geschilderten trigonometrischen Operationen hatten nur den Zweck, gleichsam den grossen Rahmen der Karte zu sichern. Sie umfassten daher auch nur eine mässige Zahl (25) von Punkten. Nebenher giengen, wie schon früher angedeutet, nicht minder umfangreiche Arbeiten ähnlicher Art zur Einpassung der Detailmessungen in diesen Rahmen. Dieselben bezogen sich auf 50 weitere Punkte, die hauptsächlich durch Rückwärtseinschneiden nach einer grösseren Zahl (stets mehr als drei) vorher bestimmter Punkte, nicht selten aber auch durch gemischtes Vorwärts- und Rückwärtseinschneiden, eingemessen wurden. Zu diesen gehören die Standpunkte für die tachymetrischen Messungen und die photographischen Aufnahmen, dann die Ausgangs- und Einschneidepunkte für die Steinlinien. Sie trugen zumeist keine weithin sichtbaren Signale, da deren Beschaffung zu kostspielig und zeitraubend gewesen wäre, sondern sind nur durch rothe, von Ringen umgebene kreisförmige Farbklexe und Steinmandln bezeichnet. Aus diesem Grunde war auch eine gegenseitige Verbindung dieser Punkte durch Messungen nur selten möglich, wodurch unter Umständen, namentlich zwischen nahe gelegenen Punkten, die vornehmlich nach fernen Punkten eingeschnitten sind, Richtungsfehler von ziemlich erheblichem Betrage entstehen können, die bei Nachmessungen wohl zu beachten und leicht zu vermeiden sind. Zu ihrer Bestimmung wurde nicht selten, zumal bei der ersten Campagne, ein namentlich in den Höhenwinkeln etwas minderwerthiges Instrument, ein Taschentheodolit von Miller in Innsbruck, mit 5 cm Horizontalkreis und 6 cm Verticalkreis und Minutenangabe an beiden Kreisen benutzt, der sich durch sein geringes Gewicht empfahl.

Einführung
der Standpunkte
für die Detail-
messung.

Fixpunkte im
Firnfeld.

Den trigonometrisch bestimmten Punkten sind ferner jene 80 beizuzählen, welche in den mittleren flachen Theilen der Firnmulde des Vernagtferners durch Vorwärtseinschneiden theils von dem ersten Punktpaar: 3070·8 im Felsbau der Hintergraslpitze und 3079·0 am Schwarzkögele, theils von dem zweiten 3238·2 an einem Felsast der Hochvernagtspitze und 3076·1 am Schwarzkögele gewonnen wurden. Zwei auf den Punkten eines Paars postierte, mit je einem Theodolit ausgerüstete Beobachter zielten gleichzeitig ein bewegliches Signal an, welches von einem Dritten, in Begleitung zweier Führer, über das Firnfeld dirigiert und in bestimmten Zeitintervallen, alle 5 oder $7\frac{1}{2}$ Minuten, auf kurze Zeit (ca. 1 Minute) postiert wurde. Zur Vermeidung von Verwechslungen notieren beide Beobachter die Zeit jeder Einstellung. Diese Art zu messen ist sehr ergiebig, erfordert aber tadelloses Wetter, sehr festen Stand der Instrumente und grosse Ausdauer im Einstellen und Ablesen von Seiten der Beobachter und im Schneestampfen von Seiten des Dirigenten. Mangelhafter Instrumentenstand und ungenügende Controllbeobachtungen haben eine ähnliche Messungsreihe am Guslarfirn von den Punkten 3194·6 (Hintergrasleck) und 3252·5 (Nock) aus, welche sich auf 50 Punkte erstreckte, zum grössten Theil unbrauchbar gemacht, wie sich leider erst bei der Verarbeitung herausstellte.

Einmessung der
Nummernsteine
auf den Stein-
linien.

Schliesslich sind bei den trigonometrisch bestimmten Punkten auch noch die Nummernpunkte der beiden Steinlinien (15 am Vernagt- und 21 am Guslarferner) zu erwähnen. Zur Messung der Stromgeschwindigkeit des Gletschers wurden nämlich am Vernagtferner zwischen den Punkten 2852·4 und 2841·3 und am Guslarferner zwischen den Punkten 2810·8 und der Vorderen Guslarspitze 3118·6 gerade Linien

über die Eisfläche ausgesteckt, auf dieselben in Zwischenräumen von 40—50 m rothe mit fortlaufenden Nummern bezeichnete, hand- bis kopfgrosse Steine gelegt und diese von seitwärts gelegenen Punkten (am Vernagtferner von 2729·4, am Guslarfener theils von demselben, theils von 2809·9) aus eingeschnitten. Kleine, etwa faustgrosse, rothbemalte Steine in Abständen von ca. 1 m ergänzen die Linie zwischen den Nummernsteinen und dienen als Leitsteine beim späteren Wiederaufsuchen der durch die Bewegung krumm gezogenen Linien.

Die Zahl der Punkte, welche durch trigonometrische Messungen festgelegt sind, beläuft sich somit auf 191.

Tachymetrische Arbeiten.

Sie sind natürlich noch bei weitem nicht hinreichend zur Herstellung einer verlässlichen Curvenkarte. Hiezu gehören zunächst die tachymetrisch aufgenommenen Detailpunkte. Diese sind durch eine vom Standpunkt des Instrumentes ausgehende Richtung und durch die an der Distanzlatte abgelesene Entfernung bestimmt. Wir benützten 4 m lange unbezifferte Distanzlatten von beistehender Form (Fig. 6). Der obere Faden des Distanzmessers wurde je nach der abzulesenden Entfernung auf jene der drei Signalscheiben eingestellt, bei welcher der zweite Faden die untere Metertheilung trifft. An dieser wurden dann die Zehner und Einer der Meter abgelesen. Vor Ablesung des Verticalwinkels stellte man den Mittelfaden auf eine in Instrumentenhöhe angebrachte Marke ein. Dieser Verticalwinkel wurde auch zur Reduction auf den Horizont benutzt, obwohl die benutzten Reductionstabellen¹⁾ eigentlich den nach der Mitte des Lattenabschnittes zielenden Winkel verlangen. Die hieraus entstehenden Fehler sind unerheblich, da bei grosser Entfernung die beiden Winkel wenig verschieden sind und bei kleinen die Reduction ohnehin wenig ausmacht. Zum Verticalstellen der Latten dienten ursprünglich Dosenlibellen. Dieselben waren aber nach kurzem Gebrauch durch Steinschläge zertrümmert, sodass wir uns mit Senkeln behelfen mussten, was die Genauigkeit stark beeinträchtigte. Die Arbeit wurde unter die vorhandenen Beobachter so getheilt, dass einer Lattenabschnitt und Winkel am Instrument ablas, ein Zweiter die Ablesungen eintrug und ein Dritter die Reduction des Lattenabschnittes auf Horizontaldistanzen vornahm, worauf der Zweite den Punkt in ein aus konzentrischen Kreisen und Radien bestehendes, rosettenförmiges Schema im Maasse 1 : 2500 eintrug und das Terrain in Schraffen dazu skizzierte. Der Dritte hatte außerdem die Direction des Figuranten zu besorgen. Die anfangs hiebei verwendeten Hornsignale oder Pfeifen liessen in der Nähe rauschender Gewässer im Stich und mussten durch Tücherschwenken ersetzt werden. Die eingemessenen Punkte erhielten einen rothen Farbklex zur Bezeichnung, um sie bei einer späteren Begehung des Geländes behufs Revision der Terrainskizze wieder finden zu können.

Bei der Natur des zumeist in Frage kommenden Terrains, hohe, steile, meist über 25° geneigte Schutthalde oder noch steilere Felspartieen, war die Tachymetrie ein wenig förderliches, wenig genaues, und darum wenig erfreuliches Geschäft. Das Senkrechtstellen der Latten und das für einige Genauigkeit nothwendige ruhige Halten ist auf dem steilen Gelände, wo beides besonders nothwendig wäre, gerade am schwersten. Das andauernde Zielen unter steilen Winkeln und auf den gespenkelten vibrierenden Schutthintergrund ermüdet Auge und Körper, die Tachymetertabellen reichen für die Reduction auf den Horizont nicht mehr aus, das Skizzieren

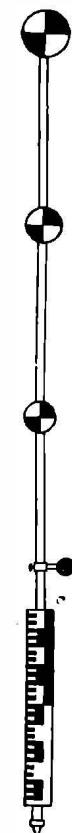


Fig. 6.
Distanzlatte.

Mängel der Tachymetrie

¹⁾ Hilfstafeln für Tachymetrie von Dr. W. Jordan, Stuttgart 1880.

eines steilen gestuften und gefurchten Hanges von einem Standpunkte auf demselben ist wegen der perspectiven Verzerrung äusserst erschwert und irreführend: lauter Hindernisse, die, wenn sie auch überwunden werden können, das Schlussresultat doch derart beeinträchtigen, dass es der aufgewendeten Mühe nicht mehr entspricht. Eine Tagesleistung von 100 Detailpunkten auf 50—70 *ha* ist unter solchen Umständen schon ganz respectabel und setzt tadelloses Wetter voraus. Von den 500 Detailpunkten, welche so aufgenommen wurden, sind nur etwa 300 der Karte einverleibt worden; die übrigen haben aus allerlei Gründen, meist wegen zu grosser Distanz oder zu steiler Winkel, zu Zweifeln Anlass gegeben und sind durch photogrammetrische Punkte ersetzt worden. Etwa 140 der ausgemerzten Punkte bezogen sich übrigens auf die Eisoberfläche des Jahres 1888 und konnten auf der Karte, welche die Verhältnisse vom Jahre 1889 darstellt, nicht Platz finden.

Benützung der
Photogram-
metrie.

Photogrammetri-
scher Apparat.

Die Erfahrungen bei früheren Gletschervermessungen hatten uns die Schwierigkeiten und die vielfache Unzulänglichkeit der Tachymetrie wohl voraussehen lassen, und wir hatten uns gerüstet, denselben durch Anwendung der Photogrammetrie zu begegnen. Damals, zu Beginn des Jahres 1888, waren die Erfahrungen in diesem Zweige der Messkunst noch sehr dürftig; außer dem von Jordan im Jahre 1876 publicierten Plan der Oase Gassr Dachel, der noch dazu keine Höhenangaben enthielt, existierte meines Wissens in der Literatur kein praktisch ausgeführtes Beispiel einer photogrammetrischen Aufnahme. Wohl gab es einige Berichte über solche Aufnahmen, auch im Gebirge, aber sie waren eintheils viel zu dürftig, anderntheils geradezu marktschreierisch, sodass man sich kein klares Bild von der Tragweite und der Brauchbarkeit der Methode machen konnte. Einige eigene Versuche in früheren Jahren, Photographien zu Constructionen zu benutzen, hatten keine recht befriedigenden Erfolge gehabt, aber umso mehr die Nothwendigkeit exakter und stabiler Apparate gezeigt. Einen solchen liess ich mir für die Zwecke der Vernagtvermessung in der Werkstatt von Michael Sendtner in München herstellen, und zwar nach dem Muster des von Meydenbauer für Architekturaufnahmen angegebenen Apparates.¹⁾ Mit der Brennweite des Objectivs gieng ich, um den Apparat möglichst transportfähig zu machen, auf 162 *mm* (Landschafts-aplanat von Steinheil) herab. Dann liess sich bei senkrecht stehender Platte vom Format 160 \times 210 *mm* ein horizontales Gesichtsfeld von 60° und ein verticales von $\pm 22.5^\circ$ erzielen. Die Camera bestand aus einem soliden lederbezogenen Eisengerippe, an welchem einerseits das Objectiv, andererseits der Einschieberaum für die Doppelkassetten, von denen sechs Stück vorgesehen waren, unverrückbar befestigt wurden. Das Ganze war corrigierbar, mit dem Alhidadenkreis eines theodolitartigen Unterbaues verbunden und liess sich um eine vertical zu stellende Achse drehen. Die Drehung konnte nach einer Gradeintheilung um eine beliebige Zahl ganzer Grade (zumeist 60°, dem horizontalen Gesichtsfeld entsprechend) vorgenommen werden. Sechs Aufnahmen umfassten den Horizont. Auf den Negativen wurde die stets in der Mitte der Platte gelegene Horizontallinie durch seitliche Marken gekennzeichnet, die sich bei jeder Aufnahme als Schatten zweier mit der Camera solid verbundener, durch Drehung von Aussen in die Ebene der Platte klappbarer Metallbügel abbildeten. Eine Vorrichtung zur Orientierung der aufgenommenen Photographien besass der Apparat nicht. Seine Verwendung zu Messungszwecken setzte vielmehr voraus, dass eine auf dem erzielten Bilde auffindbare Marke ihrer Richtung nach vorher eingemessen war, was in den meisten Fällen das Mitführen eines

¹⁾ Der Apparat ist beschrieben in: Die Terrainaufnahme mittelst Photogrammetrie von Dr. S. Finsterwalder. Bayer. Industrie- u. Gewerbeblatt 1890, Nr. 47.

Theodolits nöthig machte. Zu dem Apparate gehörte ein sehr massives Stativ, ausserdem wurde wenigstens bei der Aufnahme des Grabens noch ein Wechselsack mitgenommen, um die in den Kassetten befindlichen Platten nach ihrer Exposition durch neue ersetzen zu können. Das Gewicht der photogrammetrischen Ausrüstung erreichte so trotz des nicht grossen Formates der Platten und der kleinen Brennweite des Apparates einen Betrag, der die nothwendige Beweglichkeit zu beeinträchtigen begann. Es betrug ohne Wechselsack 21.8 kg (leerer Apparat 7.5 kg , sechs gefüllte Doppelkassetten 4.5 kg , Kasten 5.2 kg , Stativ 4.6 kg). In der eben beschriebenen Form kam der Apparat bei der ersten Campagne, und zwar in der Hauptsache bei Aufnahme des Vernagthales zur Verwendung. Etwa 45 brauchbare Bilder von 20 Standpunkten aus wurden innerhalb dreier Tage hergestellt. Die Entwicklung nahmen wir möglichst bald in unserem Quartier vor, wo wir im Schlafzimmer eine Dunkelkammer improvisierten, was wegen der vielen Löcher und Ritzen am Boden, an der Decke und in den Wänden nicht ganz leicht war. Die verwendeten Platten, orthochromatische Eosinsilberplatten nach Vogel-Obernetter von Otto Perutz in München präpariert, wurden mit Eisenoxalat entwickelt und bewährten sich vorzüglich. Bei dieser ersten Campagne stellten sich nachstehende Übelstände am Apparat heraus: Infolge ungenügender Ausbalancierung liess sich die Drehachse desselben nicht vertical stellen; es veränderte sich die Lage des Horizontes beim Einsetzen der 750 gr schweren Doppelkassette beträchtlich, sodass die Unsicherheit auch nach Berücksichtigung jener Änderung noch $\pm 0.3\text{ mm}$ betrug. Die aufklappbaren Doppelkassetten veränderten trotz der Metallbeschläge ihre Form unter dem Einfluss der Witterung und der verschiedenen Spannung der inneren Druckfedern, woraus eine Unsicherheit der Bildweite um $\pm 0.5\text{ mm}$ resultierte. Das Umklappen der Horizontmarken wurde leicht vergessen, wodurch die Verwendung der ohne solche Marken erzielten Bilder in Frage gestellt war. Das Einmessen von Orientierungsrichtungen nach natürlichen Zielpunkten garantierte wegen der wechselnden Beleuchtung nur dann einen vollen Erfolg, wenn es in unmittelbarem Anschluss an die photographische Aufnahme erfolgte. Das verticale Gesichtsfeld von $\pm 22\frac{1}{2}^{\circ}$ war bei den steilen, häufig über 30° geneigten Thalwänden und dem V-förmigen Querschnitt des einer Sohle vielfach entbehrenden Grabens manchmal unzureichend.

Im Ganzen waren die Unvollkommenheiten des Apparates aber schon deshalb ohne besonderen Belang, weil nur auf geringe Entfernungen, meist unter 500 m , photographiert wurde. Die meisten derselben liessen sich zudem ohne besondere Umstände heben. So wurde durch Anbringung eines Balanciergeichtes eine Sicherung des Horizonts auf nahezu 0.1 mm erzielt. Die Unsicherheit der Bildweite liess sich durch eine Vorrichtung, welche nach Öffnung der Kassette die Platte gegen drei fest mit dem Apparat verbundene Stifte drückte, auf $\pm 0.15\text{ mm}$ einschränken. Ebenso wurden die Horizontalmarken fest mit der Camera verbunden und bis auf 0.5 mm in eine Ebene mit jenen drei Stiften gebracht.

Der so verbesserte Apparat diente im Jahre 1889 hauptsächlich zur Vermessung des Firnfeldes. 25 Stationen, darunter sechs zur Ergänzung der Messungen im Vernagtthal, mit 65 Bildern kamen zur Erledigung. Viele davon, nämlich 14, liegen über 3000 m hoch. Die Schwierigkeiten des Transportes der photographischen Ausrüstung waren in der Firnregion umso fühlbarer, als einer der beiden Träger erkrankte und bald entlassen werden musste. Die Entwicklung der Platten wollten wir der Sicherheit halber nicht auf den Schluss der Campagne verschieben; wir sahen uns daher genötigt, dieselbe im Zelt vorzunehmen. Zwar hatten wir bei Bestellung des Zeltes auf die Einrichtung einer Dunkelkammer Rücksicht genommen, indem wir das kleine Schlafzelt, das innerhalb des grossen Wohnzeltes

Änderung des
Apparates zum
Gebrauche im
Firnfeld.

das gemeinsame Lager überdeckte, aus undurchsichtigem Stoff anfertigen liessen, aber die Verbindungen der Zelttheile waren derart, dass sich keine Lichtdichtigkeit erzielen liess, und ausserdem war der Raum so beschränkt und für das Entwickeln ungeeignet, dass wir es vorzogen, dieses Geschäft erst nach Einbruch der Dunkelheit im Wohnzelt vorzunehmen. Bei der niederen Temperatur der Bäder währte das Entwickeln und Fixieren endlos, häufig bis gegen Mitternacht. Wir arbeiteten diesmal mit Hydrochinonentwickler und erzielten gute Resultate. Trotz der grossen Schwierigkeit beim Transport und bei der Lagerung der Platten kamen Verschleierungen derselben durch Feuchtwerden nur ganz ausnahmsweise vor. Durch Bruch verunglückten nur zwei Stück, obwohl alle Platten zum Wässern einen 7 m hohen steinigen Hang hinabgetragen werden mussten. Beim Trocknen litt gelegentlich die Gelatineschicht durch Eisbildung in den klaren Nächten.

Die rechnerische Verwerthung des Beobachtungsmaterials.

Das kleine
Dreiecksnetz u.
seine Genauig-
keit.

Die beiden Campagnen hatten vorerst einen ansehnlichen Stoss von Beobachtungsheften, Terrainskizzen und photographischen Negativen ergeben, aus deren Verarbeitung die Karte des Vernagtferners entstehen sollte. Zunächst war die trigonometrische Berechnung des Netzes auszuführen. Ich habe schon erwähnt, dass ich vorläufig die Coordinaten der Eckpunkte der kleinen, von der Zwerchwand bis zum Hintergrasl reichenden Kette von neun Dreiecken berechnete, nachdem ich die Widersprüche in den Winkelsummen empirisch ausgeglichen hatte. Dabei legte ich ein System (I) zu Grunde, das seinen Ursprung im Punkte 2470° hat und dessen X-achse durch den Punkt 2661° am Plattei hindurchgeht. Die Höhendifferenzen der Endpunkte jeder der 19 Dreieckseiten wurden aus den in beiden Richtungen gemessenen Höhenwinkeln doppelt bestimmt, gemittelt und zur empirischen Ausgleichung der Höhen der elf Eckpunkte verwendet. Hieran schloss sich die Coordinaten- und Höhenrechnung für die 35 tachymetrischen und photogrammetrischen Standpunkte. Die Coordinaten wurden meist aus den drei günstigsten Ziellinien gerechnet, dann die Azimute aller übrigen bestimmt und mit den Beobachtungen verglichen. Blieben die Differenzen innerhalb einer halben Minute beim grossen oder einer Minute beim kleinen Instrument, so liess ich sie zumeist auf sich beruhen; andernfalls wurden die Coordinaten nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Zur Höhenrechnung wurden alle Verticalwinkel herangezogen und aus den verschiedenen Bestimmungen, falls sie nicht gar zu ungleichwerthig waren, das Mittel genommen. Bezüglich der erreichten Genauigkeit seien folgende Zahlenangaben gemacht. Die Schlussfehler in den Winkelsummen der neun Dreiecke bewegen sich zwischen 8" und 53"; als mittlerer Fehler eines Winkels ergiebt sich nach der sogenannten internationalen Fehlerformel¹⁾ 16". Bildet man aus den Höhendifferenzen der Eckpunkte, deren algebraische Summe in jedem Dreieck Null sein soll, in ähnlicher Weise Schlussfehler, so bewegen sich dieselben zwischen 2 cm und 45 cm. Rechnet man, was bei der angenäherten Gleichheit der Seiten gerechtfertigt ist, aus den an den beobachteten Höhenunterschieden angebrachten Verbesserungen und der Zahl der überschüssigen Messungen einen mittleren Fehler eines hin- und hergemessenen Höhenunterschiedes, so ergiebt sich derselbe zu 15 cm. Bei einer mittleren Seitenlänge von 500 m entspricht dies einem mittleren Fehler des Höhenwinkels von 1'.

¹⁾ Diese von der internationalen Gradmessungskommission angenommene Näherungsformel zur Schätzung der Genauigkeit von Triangulationen lautet: $m = \sqrt{[w^2] : 3n}$, wobei m den mittleren Fehler eines Winkels, $[w^2]$ die Summe der Quadrate der Dreieckswidersprüche und n die Zahl der Dreiecke bedeutet.

mittlere Fehler des grössten, 551 m betragenden Höhenunterschiedes zweier Netzpunkte ist auf 30 cm zu veranschlagen. Für die pothenotisch eingeschalteten Punkte habe ich aus den Abweichungen der Einzelbestimmungen der Höhe von dem schliesslich angenommenen Mittel mittlere Fehler einer Einzelbestimmung gerechnet, die in der grossen Mehrzahl der Fälle unter $0\cdot3\text{ m}$ blieben, wodurch, da mindestens drei, im Durchschnitt vier Bestimmungen für eine Höhe vorlagen, eine Sicherung des relativen Höhenunterschiedes eines rückwärts eingeschnittenen Punktes gegenüber den benachbarten trigonometrischen Punkten auf $0\cdot1$ — $0\cdot2\text{ m}$ erzielt wurde.

Die soeben erwähnten trigonometrischen Rechnungen, denen eine vorläufige Ableitung der Dreiecksseite 2470.0—2661.7 aus der Linie Weisser Kogl-Thalleit-spitze vorausgegangen war, beschäftigten uns im Winter 1888 und Frühjahr 1889. Wie der definitive Anschluss an die erwähnte Linie und damit an das Coordinaten-system der Landestriangulation geplant und demnach zu berechnen war, ist nach dem früher Gesagten leicht zu übersehen. Ich bemerke nur, dass das grosse Dreieck, welches die Vorder-Guslarspitze mit der Basis verbindet, einen Winkelschlussfehler von $24''$ und einen Höhenschlussfehler von 0.5 m aufwies. Die Rechnung wurde tatsächlich durchgeführt und lieferte Coordinaten der Netzpunkte, die scheinbar auf das System der Landesvermessung bezogen waren. In Wirklichkeit war dies wegen der unrichtigen Coordinaten des Weissen Kogls nicht der Fall, sondern unser neues System (II) war, wie sich später herausstellte, gegen das wahre Landesvermessungssystem um $15'4''$ verdreht und sein Maassstab um $1/500$ falsch. Immerhin hatten uns diese Rechnungen die relative Lage der Netzpunkte gegeneinander bis auf den Massstab richtig gegeben.

Ehe ich dazu übergehe, die definitive Berechnung der Coordinaten der Netzpunkte zu schildern, ist noch Einiges über das System der Landesvermessung und sein Verhältniss zu dem von uns schliesslich adoptierten Coordinatensystem zu bemerken. Die für die Zwecke des Grundsteuerkatasters bestimmte Triangulierung ist in jedem österreichischen Kronland selbstständig und unabhängig vorgenommen worden; so hat denn auch jedes Land sein eigenes Coordinatensystem und zwar ein rechtwinklig sphärisches nach Soldner. Die Abscissenachse des Tiroler Systemis fällt mit dem Meridian durch den Thurm der Pfarrkirche in Innsbruck zusammen und die Netzpunkte sind durch die Länge eines von ihnen auf diesen Meridian senkrecht gefällten grössten Kreises (= Ordinate) und den Abstand (= Abscisse) des Fusspunktes dieser Ordinate von dem Thurm der Innsbrucker Pfarrkirche bestimmt. Die Linien (Parallele [sc. Kreise] zum Ausgangsmeridian und Perpendikel hiezu genannt), deren Punkte eine ganze Zahl österreichischer Meilen zur Ordinate resp. Abscisse haben, bilden unter dem Namen Meilenränder die Eintheilung der an nähernd quadratischen, eine Geviertmeile umfassenden Katastraldecken. Die Coordinaten der Netzpunkte werden nicht direct, sondern auf die Meilenränder bezogen und zwar jetzt in Metern und Decimetern angegeben. Für die von uns benützten Ausgangspunkte sind sie nach Angabe des Militärgeographischen Institutes folgende:

Das Coordinatensystem der Katastralaufnahme.

	Abseits Süden.	Gegen Westen.	Höhe.
Thalleitspitze	$2829\cdot7$ m + 6 Meilen = $48345\cdot32$ m;	$758\cdot4$ m + 5 Meilen = $38688\cdot08$ m;	$3407\cdot1$ m
Krahwand	$2338\cdot6$ m + 7 Meilen = $55440\cdot15$ m;	$745\cdot9$ m + 5 Meilen = $45381\cdot58$ m;	$3251\cdot3$ m
Glockthurm	$3610\cdot9$ m + 5 Meilen = $41540\cdot88$ m;	$2399\cdot2$ m + 7 Meilen = $55500\cdot75$ m;	$3355\cdot3$ m
Weisser Kogl	$3943\cdot2$ m + 5 Meilen = $41872\cdot88$ m;	$6797\cdot8$ m + 4 Meilen = $37141\cdot54$ m;	$3421\cdot7$ m

Trägt man die rechtwinklig-sphärischen Coördinaten in ein ebenes, rechtwinkliges System ein, so erhält man eine Abbildung der Kugel, die streng genommen nach keiner Richtung correct ist, obschon die Abweichungen für die graphische Darstellung verschwindend und für die ebene trigonometrische Rechnung innerhalb

Ebenes Coordinatenystem
für die Vernagtferner-
vermessung.

des kleinen Bereiches und bei der geringen Entfernung vom Ursprung des Systems wenig erheblich sind. Um ganz einwurfsfrei zu verfahren, und hauptsächlich um den grossen Ziffernballast zu vermeiden, habe ich für den Vernagtferner ein ebenes Coordinatenystem gewählt, dessen Ursprung im rechtwinklig-sphärischen System die Coordinaten: 5 Meilen = 37929'68 m westl., bezw. südlich hat und dessen X-achse mit dem nach Westen gerichteten Perpendikel jenes Punktes, dessen Y-achse mit dem nach Süden gerichteten Parallel zum Innsbrucker Meridian zusammenfällt.¹⁾ In diesem ebenen System sind die Coordinaten der Ausgangspunkte folgende:

	x	y	Höhe
Thalleitspitze	758'45 m	10415'45 m	3407'1 m
Krahwand	7452'05 m	17510'03 m	3251'3 m
Glockthurm	17571'08 m	3610'76 m	3355'3 m

Sie sind nur um kleine Bruchtheile des Meters von den um 5 Meilen verminderten sphärischen Coordinaten derselben Punkte verschieden. Die Y-achse fällt, da sie parallel zum Innsbrucker Meridian ist, nicht in die Nord-Südrichtung irgend eines Punktes unseres Gebietes. Sie schliesst beispielsweise mit dem Meridian des im Centrum gelegenen Punktes von den Coordinaten $x = 6000$, $y = 7000$ m einen Winkel von $25^\circ 13'8''$ ein (Fig. 7).

Ausgleichung
des mittleren Vierecks des "grossen" Netzes.

Nach dieser Abschweifung kehre ich zur Schilderung der Berechnung der endgültigen Coordinaten, die auf das eben definierte System bezogen sind, zurück. Da von keinem der drei Ausgangspunkte aus eine orientierte Richtung nach einem der Punkte des Netzes vorlag, sondern nur solche, welche von Netzpunkten nach den Ausgangspunkten giengen und innerhalb des Netzes orientiert waren, so liess sich auf direktem Wege die Länge irgend einer Netzseite nicht finden. Es wurde daher zunächst das Netz für sich ausgeglichen und berechnet, wobei der Maassstab noch willkürlich blieb. Dabei konnte der grösste Theil der früheren Rechnungen benutzt werden. Die Ausgleichung begann mit dem Viereck: Vordere Guslar-spitze (V.G.), Kesselwandspitze (Ksp.), Schwarzkögele (Sk.), Platteikopf (Pl.), in welchem sieben Winkel gemessen wurden, nämlich folgende (siehe Fig. 8):

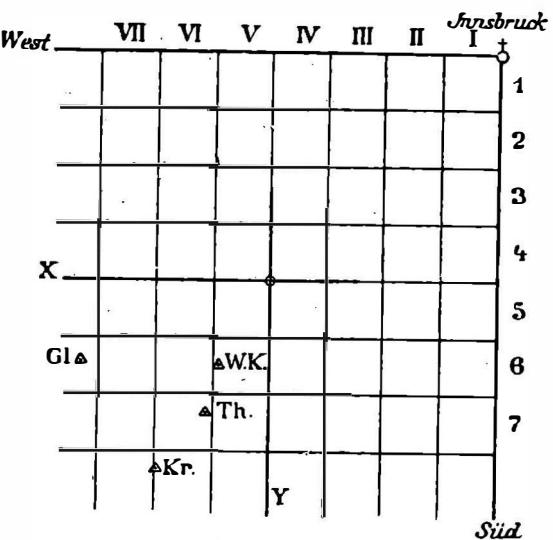


Fig. 7. Meilenränder des Tiroler Katastersystems.

	Ksp. V.G. (1)	Ksp. Pl. (2)	Sk. V.G. (3)	Sk. V.G. (4)	Pl. Ksp. (6)	V.G. Pl. (7)	V.G. Pl. (9)
Gemessen	53° 33' 51"	8° 21' 42"	44° 44' 36"	101° 7' 51"	34° 40' 26"	18° 25' 49"	91° 45' 27"
Gewicht	2	2	4	4	I	2	4
Verbesserung	- 2'2"	+ 15'1"	- 1'9"	+ 2'2"	+ 18'1"	- 1'7"	+ 0'2"
Ausgeglichen	53° 33' 48'8"	8° 21' 57'1"	44° 44' 34'1"	101° 7' 53'2"	34° 40' 44'1"	18° 25' 47'3"	91° 45' 27'2"

¹⁾ Ich folgte hierbei dem Vorgange von Dr. J. H. Franke. Vgl. dessen Betrachtungen über das Coordinaten- und Blattsystem der bayer. Landesvermessung. Correspondenzblatt des bayer. Geometervereins, Bd. IX., 1894, S. 1, sowie Astronomische Nachrichten Nr. 3022, 1891.

Als Einheit des Gewichtes wurde der einmal in einer Kreislage gemessene Winkel angenommen. Die Winkelsummen der Dreiecke: Ksp., Sk., V.G. (1) + (2) + (3) + (9) - (7) = $179^{\circ} 59' 47''$ und Ksp., Pl., V.G. (1) + (6) + (9) = $179^{\circ} 59' 44''$ geben Schlussfehler von $-13''$ und $-16''$; die Seitengleichung $\sin(1+2) + \sin(7) + \sin(6) + \sin(3+4) - [\sin(9) + \sin(2) + \sin(3) + \sin(2+3+4-6)] = 0$ ist bis auf $+157$ Einheiten der sechsten Decimale erfüllt. Die oben angeführten Verbesserungen wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, aus ihnen ergiebt sich der mittlere Fehler eines Winkels vom Gewicht 1 zu $14''$, eines solchen vom mittleren Gewicht $(2\cdot7)$ zu $9''$. Leider wurde der Winkel Sk., Pl., Ksp. nicht gemessen, da man von dem excentrischen Standpunkt aus den Steinmann auf dem Schwarzkögle nicht mehr sehen konnte.

An die drei Punkte V.G., Ksp., Pl. wurden alsdann die beiden Punkte Thalleit und $2661\cdot7$ am Plattei in einer Ausgleichung gemeinsam angeschlossen. Siehe nachstehende Fig. 8, in der die gemessenen Sichten durch Linien eingetragen sind. Der mittlere Fehler eines Winkels in zwei Kreislagen ergab sich zu $9''$.

Anschluss der übrigen Punkte des „grossen“ Netzes.

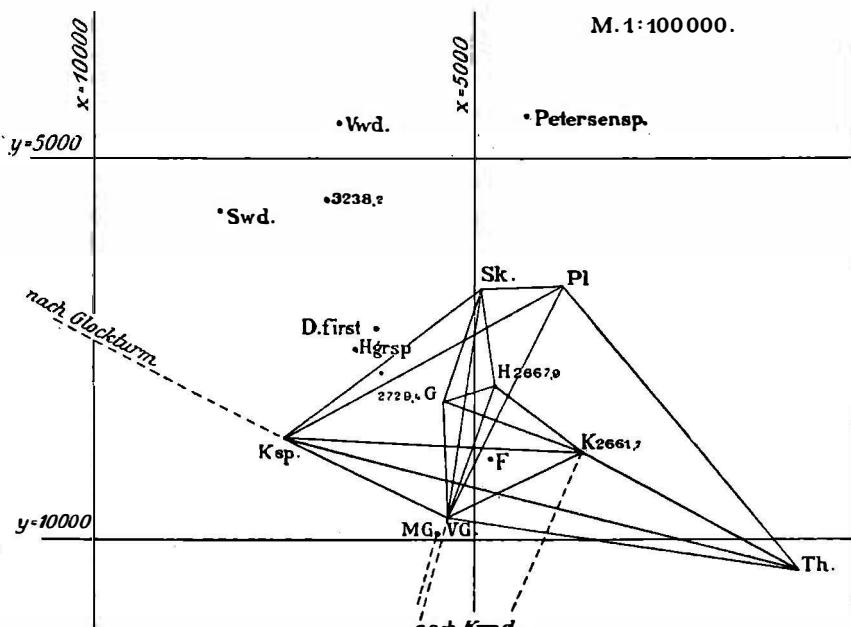


Fig. 8. Trigonometrisches Netz.

Durch Vorwärts einschneiden von Ksp., V.G., Sk., Pl. wurde die Vernagtwand (Vwd.) bestimmt. $m. F. = 19''$. In ganz analoger Weise, nur noch vermehrt durch eine Sicht von $P. 2661\cdot7$ aus, die Hintergras spitze mit einem $m. F. = 13''$. Von V.G., Sk. und Pl. wurde die Schwarzwandspitze (Swd.) eingeschnitten, wobei der $m. F. = 23''$ zum Vorschein kam. Vermuthlich liegt hier ein Versehen auf V.G. vor, wo der betreffende Winkel zweimal, jedoch mit einem Unterschied von $1'$ gemessen wurde, was unbemerkt blieb. Da die anderen Winkel keinen Entscheid für einen der beiden gaben, wurde das Mittel in die Rechnung eingeführt. Die Unsicherheit von Swd., die hieraus resultiert, beträgt circa $1\cdot5 m$. Zur Bestimmung der Mittleren Guslarspitze dienten Visuren von V.G., Sk. und $2661\cdot7$ aus.

Der P. $3238\cdot2$ an einem Felsbau unter der Hochvernagtpitze wurde durch Rückwärts einschneiden nach Ksp., Hgrsp., V.G., Thalleitsp., Pl., Vwd. festgelegt.

m. F. = 16". Von diesem Punkt und vom Platteikogl aus berechnete sich durch Vorwärtsseinschneiden die Peterseinspitze, der einzige trigonometrische Punkt, der keine den Bestimmungsstücken gleichwerthige Controlvisur aufweist. Derselbe wurde aber beim Rückwärtsseinschneiden des Punktes Dachfirst einbezogen, von dem aus ausserdem Swd., Vwd., Hgrsp., Ksp., V.G. angezielt wurden. Der mittlere Fehler von $16''$, der aus dieser Ausgleichung hervorging, bestätigte, dass keine nennenswerthe Fehler-Anhäufung im Netz vorhanden war. Zum Anschluss der kleinen Dreiecksstrecke wurden die P. 2667·9 und 2729·4 (am unteren Ende des Hintergrasls) zwischen Sk., V.G. und 2661·7 eingeschaltet, was allerdings nicht ohne einen *m. F.* von $22''$ abging. Die Berechnung der übrigen trigonometrischen Punkte vollzog sich in ganz ähnlicher Art, wie die der bereits beschriebenen und giebt zu keinen weiteren Bemerkungen Anlass.

Einpassung des Dreiecksnetzes in die Fixpunkte der Landesvermessung.

Die gegenseitige Lage aller so berechneten Punkte war nun in einem schon erwähnten Koordinaten- system (II) dargestellt, zu dessen Orientierung und Maassstabbestimmung nach dem Landesvermessungssystem, beziehungsweise nach System (III) ausser den Koordinaten des Punktes Thalleitspitze in beiden Systemen noch die Sicht von Ksp. nach Glockthurm und der aus der Hochjochfernvermessung übernommene Winkel von Mitterguslarspitze nach Thalleitspitze und

Krahwand zur Verfügung stand. Es war demnach die geometrische Aufgabe zu lösen: Das Dreieck der Punkte Ksp., M.G., Th. um letzteren Punkt unter Beibehaltung seiner Form aber Veränderung seiner Grösse so zu drehen, dass die zweiten Schenkel der mit ihm fest verbundenen Winkel: Th., M.G., Kr. = $\alpha + \beta$ und Th., Ksp., Gl. = $180^\circ + \gamma - \delta$ durch die vorgegebenen Punkte Kr. und Gl. gehen (Fig. 9). Zur Lösung dieser Aufgabe führt man am einfachsten die zwei Hilfspunkte *P* und *Q* ein, in welchen die Verbindungsstrecke: Ksp.-M.G. die beiden den Dreiecken Kr., M.G., Th. und Gl., Ksp., Th. umschriebenen Kreise nochmals schneidet. Die in der Figur gleichbezeichneten Winkel sind dann nach bekannten Sätzen über Peripheriewinkel einander gleich. Es lässt sich hierauf Th.-*P* aus dem Dreieck Kr., Th., *P* finden und ebenso Th.-*Q* aus dem Dreieck Gl., Th., *Q*. Im Dreieck *Q*, Th., *P* sind nun zwei

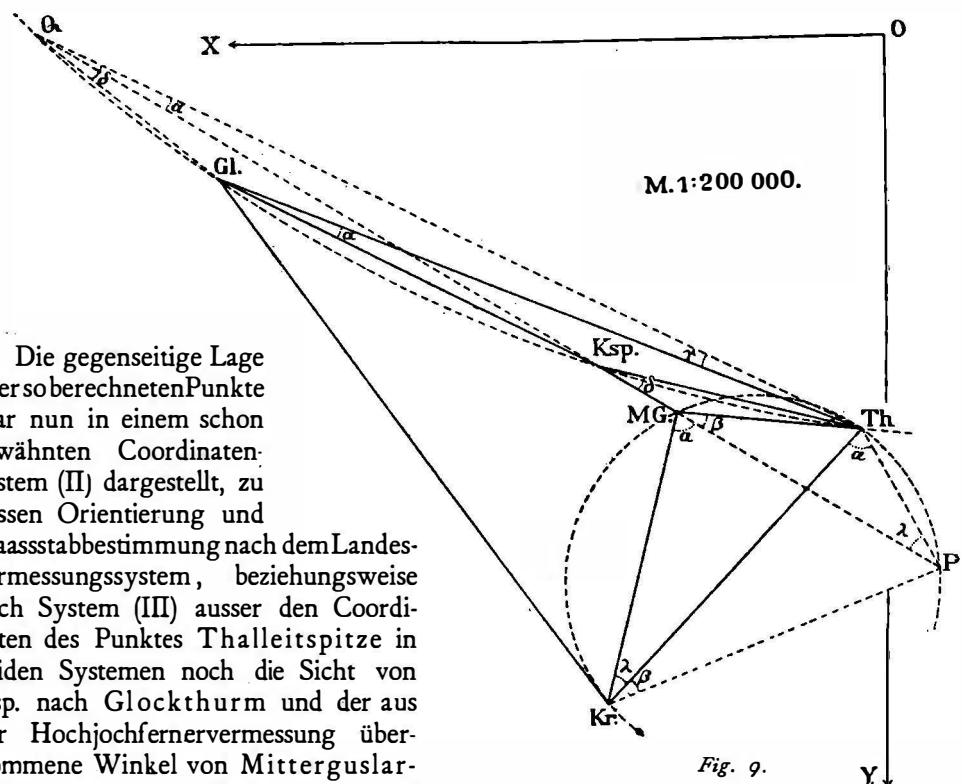


Fig. 9.

Seiten und der eingeschlossene Winkel¹⁾ bekannt, man rechnet daraus die fehlenden Winkel λ und μ , die schliesslich die Dreiecke Kr., Th., M.G. und Gl., Th., Ksp. bestimmen. Es ergeben sich daraus die Coordinaten der Punkte M.G. und Ksp. im neuen System III und die Maassstabreduction und Verdrehung des alten Systems gegenüber dem neuen. Wurden nunmehr die neuen Coordinaten von V.G. und 2661·7 gerechnet und die Richtungen von beiden nach Kr., so fanden sie sich nahe übereinstimmend mit den beobachteten, es blieben nur Unterschiede von 14" und 16".

Wurden so wie vorhin durch die Sichten von Ksp. und M.G. aus, nunmehr durch die von Ksp. und 2661·7 oder Ksp. und V.G. aus (die Combination 2661·7 und V.G. giebt keine genauen Werthe) die Reductionselemente bestimmt, so ergaben sich ganz ähnliche Werthe. Von einer Ausgleichung, die übrigens nichts sachlich Verschiedenes ergeben hätte, nahm ich Uingang in der Hoffnung, dass spätere Beobachtungen reichlicheres Material hierfür liefern könnten. Die Hoffnung hat sich nur in geringem Maasse erfüllt. Nur der Winkel, den Blümcke im Jahre 1893 vom trigonometrischen Punkte der Landesvermessung »Im hinteren Eise« 3270 m nach Th. und Ksp. maass., kam neu hinzu. Allein, da damals das Signal auf Th. bereits ziemlich verfallen, das auf Ksp. aber ganz verschwunden war, blieb die Messung zweifelhaft. Bei der Berechnung zeigte sich, dass die Sicht nach Ksp. nur 0·5 m neben dem durch unsere Coordinaten bestimmten Punkt vorbeiführte, was für die Richtigkeit unserer Coordinaten spricht. Es stellte sich bei dieser Gelegenheit auch heraus, dass selbst ganz benachbarte trigonometrische Punkte der Landesvermessung, die noch unverletzte Signale tragen, mit den gegebenen Coordinaten kaum auf einen Meter in Übereinstimmung zu bringen sind, sodass nur ein sehr reichliches Material von Anschlussmessungen eine nennenswerth grössere Genauigkeit liefern könnte. Ehe ein solches beschafft werden kann, müssen wir uns damit begnügen, dass die wenigen vorhandenen Proben für eine Genauigkeit der absoluten Werthe unserer Coordinaten innerhalb eines Meters sprechen.

Nachdem so die Coordinaten der Punkte des grossen Dreiecksnetzes bestimmt waren, musste auch noch die früher erwähnte kleine Dreieckslette sammt den daran gehängten zahlreichen pothenotischen Punkten in das neue System eingepasst werden. Ich sah von einer erneuten Ausgleichung, die auf die Zwangsbedingungen an den Anschlusspunkten Rücksicht zu nehmen gehabt hätte, ab, zerlegte vielmehr die Kette in drei Theile und stellte für jeden derselben Coordinatentransformationsformeln auf, die den strengen Anschluss zweier günstig gelegener Punkte jedes Theiles an das grosse Netz sicherten, und rechnete mit diesen die Coordinaten der übrigen Eckpunkte und der angeschlossenen Pothenotpunkte in das neue System um. Die drei Transformationsformeln zeigten nur unwesentliche Unterschiede in den Constanten und die zahlreichen Proben, die sich beim Umrechnen von Pothenotpunkten benachbarter Theile ergaben, bewiesen die Berechtigung des summarischen Verfahrens. So entstand die im Anhang gegebene Tabelle der Coordinaten von 70 trigonometrischen Punkten.

Nun fehlte noch ein wichtiger Theil der Punktbestimmung, nämlich der sich auf die Höhenlage bezügliche. Nach den Erfahrungen, die ich bei dem Vergleich unserer Bestimmung des Höhenunterschiedes der beiden Punkte der Landesvermessung Weisser Kogl—Thalleitspitze mit den officiellen Angaben gemacht hatte, verzichtete ich auf die Anpassung unseres Höhennetzes an mehrere Punkte der Landesvermessung, sondern nahm als Ausgangspunkt die Cote der Thalleitspitze, die

Einpassung der kleinen Dreieckslette.

Trigonometrische Höhenrechnung. Ausgangspunkt der selben.

¹⁾ Dieser setzt sich aus α , γ und dem aus den Coordinaten zu berechnenden Dreieckswinkel Gl., Th., Kr. zusammen.

dem Vermessungsgebiet am nächsten gelegen war. Bei der Berechnung der Höhenunterschiede aus den Vertical-Winkelmessungen und den Coordinateen war zunächst zu beachten, dass letztere auf den Meereshorizont reduziert waren und die wirklichen Entfernungen wegen der Divergenz der projicierenden Lothlinien nicht unerheblich grösser sind als die aus den Coordinateen gerechneten. Infolge der grossen Höhenlage des Gebietes betrug die Reduction 0·4 bis 0·5%.

**Ausgleichung
der Höhen des
grossen Dreiecksnetzes.**

Nachdem die Höhenunterschiede unter Berücksichtigung dieser Correction und natürlich auch der auf Erdkrümmung und Refraction bezüglichen gerechnet waren, wählte ich zehn möglichst vielseitig unter sich verbundene Punkte des grossen Dreiecksnetzes aus und unterzog die 26 zwischen ihnen gemessenen Höhenunterschiede einer empirischen Ausgleichung. Elf von den Höhenunterschieden waren in beiden Richtungen gemessen, die übrigen 15 nur einfach.

	K.	H.	Sk.	V. G.	Hgrsp.	Vwd.	Th.	Ksp.	Pl.	Swd.
K.	—	6·27 6·27 + 0·00	—	456·92 456·94 + 0·02	663·18 663·60 + 0·42	—	745·33 745·44 + 0·11	752·85 752·81 — 0·04	—	—
H.	6·28 6·27 — 0·01	—	397·70 397·77 + 0·07	450·71 450·67 — 0·04	—	—	—	—	—	—
Sk.	—	398·46 397·77 — 0·69	—	52·60 52·90 + 0·30	259·51 259·56 + 0·05	308·18 308·71 + 0·53	—	348·59 348·77 + 0·18	359·67 360·18 + 0·51	400·07 400·12 + 0·05
V. G.	456·97 456·94 — 0·03	450·45 450·67 + 0·22	53·11 52·90 — 0·21	—	206·60 206·66 + 0·06	255·91 255·81 — 0·10	288·71 288·50 — 0·21	295·72 295·87 + 0·15	307·21 307·28 + 0·07	347·25 347·22 — 0·03
Th.	744·67 745·44 + 0·77	—	—	288·40 288·50 + 0·10	—	—	—	—	—	—
Ksp.	—	—	348·40 348·77 + 0·37	296·05 295·87 — 0·18	89·41 89·21 — 0·20	39·67 40·06 + 0·39	—	—	11·86 11·41 — 0·45	—
Pl.	—	—	—	307·85 307·28 — 0·57	100·79 100·62 — 0·17	50·70 51·47 + 0·77	19·04 18·78 — 0·26	11·42 11·41 — 0·01	—	39·97 39·94 — 0·03
Def. Höhen	2661·66	2667·93	3065·70	3118·60	3325·26	3374·41	3407·10	3414·47	3425·88	3465·82

In vorstehender Tabelle mit doppeltem Eingang ist das Resultat der Höhenausgleichung enthalten. In der linken verticalen Reihe stehen die Standpunkte, in der oberen horizontalen die Zielpunkte jeder Messung. Die Tabelle gibt das Messungsresultat, das Ausgleichungsresultat und die Differenz beider im Sinne einer am Messungsresultat anzubringenden Correctur. Bildet man, um eine Schätzung der Genauigkeit der Messung zu bekommen, aus den Correcturen und aus der Zahl 28 = 37 — 9 der überschüssigen Messungen einen *m. F.*, so ergiebt sich 36 cm für die einfache und 26 cm für die Doppelmessung. Da die Zahl der Messungen (37) die der zu bestimmenden Grössen (9) viermal übertrifft, dürfte die Sicherheit der ausgeglichenen Höhen mit + 20 cm nicht überschätzt sein. Offen gestanden hatte ich gehofft, etwa die doppelte Genauigkeit zu erzielen. Ich bin aber weit entfernt, den Misserfolg, wie vielfach üblich, in erster Linie auf Rechnung der veränderlichen

Refraction zu setzen; viel eher wäre bei der Lage mancher Stationen an Lothstörungen zu denken. Der Hauptgrund liegt sicher in den schon erwähnten Schwierigkeiten der Instrumentenaufstellung, in der Unsicherheit der Ablesung an den fliegenden Nonien und bei der zu feinen Theilung des Verticalkreises und endlich in der Unthlichkeit, auf exponierten Gipfeln das leichte Instrument genügend gegen Wind und Sonne zu schützen.

Die Berechnung der Höhen der übrigen trigonometrischen Punkte erfolgte unter Beibehaltung der Resultate der eben erwähnten Ausgleichung zumeist durch einfache Mittelbildung aus den verschiedenen Einzelbestimmungen, deren Zahl wenigstens drei betrug. Die Abweichungen überschreiten die in der obigen Ausgleichung zu Tage getretenen Beträge nicht, sie bleiben vielmehr infolge der häufig kürzeren Zielweiten meist beträchtlich darunter. Die Höhen der trigonometrisch bestimmten Punkte des Firnfeldes und die der Nummersteine der beiden Steinlinien wurden aus je zwei Bestimmungen erhalten.

Um die früher gerechneten Höhen des kleinen Netzes und der daran ange schlossenen pothenotischen Punkte in Übereinstimmung mit denen des grossen Netzes zu bringen, verfuhr ich in ähnlich summarischer Weise wie bei den Coordinaten, indem ich aus den Anschlüssen beider Netze Correctionen für die Höhen des ersteren ermittelte.

Da ich, wie schon bemerkt, als einzigen Ausgangspunkt der Höhen die Katasterhöhe der Thalleitspitze mit $3407\cdot1$ m benützte, sollen hier noch die Anschlussdifferenzen bei den drei anderen Katasterpunkten mitgetheilt werden. Sie betragen beim Glockthurm (Entf. 11300 m) $3354\cdot13$ e. M. — $3355\cdot3$ Kat. = $-1\cdot17$ m, bei Krahwand (Entf. 8800 m) $3251\cdot70$ e. M. — $3251\cdot30$ Kat. = $+0\cdot40$ m und bieten nichts Auffallendes. Umso bedenklicher ist die Differenz bei dem schon als falsch erkannten Weissen Kogl (Entf. 8400 m) $3407\cdot1$ e. M. — $3421\cdot7$ Kat. = $-14\cdot6$ m. Bei dieser Gelegenheit soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Katasterhöhen der centralen Ötzthaler Alpen, wie sie in der reambulierten Specialkarte eingetragen sind und auch hier zu Grunde liegen, gegenüber den ursprünglichen Messungsresultaten, die noch in der alten Specialkarte verzeichnet sind, eine gemeinsame positive Correctur im Betrage von 4 m erfahren haben, um sie in Übereinstimmung mit den Resultaten des Präcisionsnivelllements zu bringen.

Constructiver Theil der Aufnahme.

Lange bevor die eben geschilderten umfangreichen trigonometrischen Berechnungen vollendet waren, nämlich bereits im Winter 1889/90, begann der graphische Theil der Aufnahme, der die Herstellung einer Karte des vermessenen Gebietes im Maasse $1:7500$ bezweckte. Den genannten Maassstab wählte ich im Gegensatz zu den früher benutzten bequemeren $1:5000$ aus praktischen Gründen, um die Karte auf ein Blatt zu bringen, was wegen der photogrammetrischen Constructionen von besonderem Werth war. Immerhin war die Grösse der Zeichnung schon recht bedeutend, nämlich 105 cm \times 80 cm. Im Herbst 1889 liess ich aus möglichst trockenem Holze ein aus 26 Stücken parkettartig zusammengefügtes Reissbrett herstellen und beobachtete seine Deformationen bis zum Frühjahr 1890. Sie waren anfangs noch ziemlich beträchtlich, hörten aber dann nahezu auf. Das Brett wurde erneut abgeebnet und mit stärkstem Zeichenpapier bespannt. Nach einem weiteren Monat Ruhe, erfolgte die in diesen grossen Dimensionen sehr schwierige Auftragung des Coordinatenetzes und der trigonometrischen Punkte mit Eisenlineal und Stangenzirkel. Die Richtigkeit der letzteren wurde in der üblichen Weise

Auftragung
des trigonometri-
schen Netzes.

durch Vergleich graphisch abgenommener gegenseitiger Distanzen mit den aus den Coordinaten gerechneten geprüft und keine Differenz, die 1.5 m überschritt, geduldet. Leider hatte ich damals noch das Coordinatenystem II zu Grunde gelegt, sodass alle Dimensionen um 0.2 Procent zu klein ausfielen. Dieser Fehler haftet auch noch der alsbald vorgenommenen photogrammetrischen Probeconstruction der Hintergraswand an, die ich im Jahre 1890 publicierte.¹⁾ Die Entdeckung des Fehlers unterbrach die weiteren Constructionen auf drei Jahre. Ich verfolgte während dieser Zeit die Veränderungen der Zeichnung unter den Einflüssen der wechselnden Feuchtigkeit und Temperatur. Sie waren nicht ganz unbedeutend, sondern schwankten um den Betrag von 0.1 Procent, ohne dass das Papier jemals Faltēn zeigte. Ich konnte nicht in Erfahrung bringen, ob diese Erscheinung unvermeidlich ist, es scheint mir aber bei auf Brettern aufgespanntem Papier thatzählich so zu sein. Im Herbste 1893, nachdem die Berechnungen zu Ende geführt waren, überprüfte ich nochmals die aufgetragenen trigonometrischen Punkte und fand sie in so guter Übereinstimmung, dass ich mich entschloss, in dem angefangenen Maassverhältnisse weiter zu construieren und dessen Abweichung von dem gewollten Verhältniss $1:7500$ durch Neutheilung eines Maassstabes für die graphisch abzunehmenden Distanzen Rechnung zu tragen.

Orientierung der
Photographien
und Prüfung von
Bildweite und
Horizont.

Zunächst wurde nun die Orientierung der Photographien des Firnfeldes in dem Plane vorgenommen. Zahlreiche Bestimmungen der Bildweite des photogrammetrischen Apparates vor und nach der Campagne und einige während derselben hatten gezeigt, dass bei dem verbesserten Apparat zwar die Schwankungen der Bildweite innerhalb des Betrages von 0.3 mm blieben, aber bei den grossen Distanzen, auf welche photographiert wurde, doch nicht vernachlässigt werden durften. So wurde denn für jedes Negativ, das zu Bestimmungen über 1500 m verwendet werden sollte, die Bildweite besonders ermittelt. Mittel hierzu boten: a) der Vergleich gemessener Horizontalwinkel mit den photographierten, falls diese grösser als 45° waren, b) die Messung der Distanz, welche die Bilder der am Apparat fixen Marken auf dem Negativ zeigen, c) der Anschluss benachbarter Bilder, falls der Betrag der Drehung des Apparates genau bekannt ist. Die Lage der Hauptverticalen beziehungsweise des Hauptpunktes gegenüber den Marken wurde indessen als unveränderlich angenommen, obwohl die verschiedenen Bestimmungen desselben vielfach grössere Unterschiede zeigen als die der Bildweite. Da aber die Lage dieses Punktes auf das Resultat der Winkelmessung nur einen ganz geringen Einfluss übt, begnügte ich mich mit dem Mittel aus allen Bestimmungen. Dagegen ist die Lage des Horizontes von grössstem Einfluss auf die Verticalwinkelbestimmung. Ursprünglich hatte ich — anderen Autoren folgend — Horizont und Hauptvertical durch Metallfäden von 0.1 mm Dicke markiert, welche zwischen den Marken des Apparates ausgespannt waren. Sie bewährten sich nicht, da sie infolge der starken Temperaturschwankungen, denen der Apparat ausgesetzt war, bald schlaff wurden und dann leicht rissen. Ihre Ersetzung im Felde ist mit grossen Umständlichkeiten verknüpft. Sie haben ausserdem den Nachtheil, ziemlich viel am Negativ zu verdecken. Ich nahm sie daher nach den ersten Aufnahmen heraus und wählte später bei der Messung der Platten folgenden Weg: Nachdem ich ein Positiv abgenommen hatte, ritzte ich mit einer feinen Nadel zwischen die Horizontalmarken, so gut es gieng, eine gerade Linie in die Gelatineschicht des Negativs. Nicht jedesmal gelingt dies auf 0.05 mm genau; das schadet aber nicht viel, die Linie wird trotzdem als Aus-

¹⁾ Vergl.: Die Terrainaufnahme mittelst Photogrammetrie. Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1890, Nr. 47.

gangsstelle für die Ordinaten der Bildpunkte bestimmt. Ihre Fehler inclusive derjenigen der Marken lassen sich dann immer durch Vergleichung der gemessenen Ordinaten mit den aus den Höhen bekannter Punkte gerechneten ermitteln. Mit ganz wenigen Ausnahmen genügte eine constante, von der Abscisse unabhängige Correctur für ein- und dasselbe Negativ. Als Ausgangsstelle für die Messung der Abscissen der Bildpunkte wählte ich, schon um verschiedene Vorzeichen zu vermeiden, nicht die Hauptverticale selbst, sondern eine gegen den rechten Rand zu gelegene parallel eingeritzte Gerade.

In Anbetracht der geringen Bildweite von $162,5\text{ mm}$ und der grossen, bis 4 km und darüber betragenden Entfernungen, auf welche photographiert wurde, war es nicht angezeigt, bei den Constructionen die natürliche Grösse der Bildweite beizubehalten. Dies würde, da man doch viel genauer messen als zeichnen kann, stets eine Einbusse an Genauigkeit bedeuten. Ich verdoppelte sie daher, wo es nöthig war, und musste dementsprechend auch die gemessenen Abscissen im doppelten Maasse auftragen, um die richtigen Winkel zu bekommen. In dieser Weise nahm ich die Orientierung von 40 Bildebenen, die zu 14 Stationen des Firnfeldes gehören, vor und überzeugte mich durch zahlreiche Controleen nach trigonometrischen Punkten von der Richtigkeit des Resultates. Nun begann das Bestimmen der photogrammetrischen Punkte. Zunächst wurden auf den Positiven zusammengehörige Punkte durch Nummern bezeichnet. Die Messungen der Coordinaten auf dem Negativ geschahen alsdann in der Art, dass in halb durchfallendem, halb auffallendem Licht der Nullpunkt eines Messingmassstabes aus freier Hand an den zu messenden Punkt angelegt und an der eingeritzten Linie das Messungsresultat abgelesen wurde. Eine Hilfskraft notierte letzteres in ein passendes Formular und brachte die Correctur an. So wurden für die Bilder von etwa zehn Terrainpunkten auf zwei bis fünf verschiedenen Negativen die Coordinaten ermittelt, alsdann die Abscissen — wenn nöthig im doppelten Maasse — in den Plan eingetragen und die Strahlen gezogen, deren Schnitt den Grundriss des Terrainpunktes liefert. Bei mehr als zwei Strahlen für einen Terrainpunkt ergab sich die erste Controle. Es folgte nun die Abmessung der Horizontalentfernungen des so bestimmten Punktes von den Standpunkten, welche die Hilfskraft ebenfalls in das Formular eintrug. Das nun noch fehlende Element zur Höhenberechnung, die in der Richtung des Strahles gemessene Entfernung des Standpunktes von der Bildlinie (»schiefe Bildweite«), wurde nicht dem Plan entnommen, sondern einer Tabelle, deren Argument die Abscisse¹⁾ ist, da dies genauer wird und die Augen weniger angreift.

Die schliessliche Berechnung der Höhenunterschiede als vierte geometrische Proportionalen zu Ordinate, Horizontalentfernung und schiefer Bildweite erfolgte nun in der Art, dass nach dem Dictate genannter Grössen der Rechenschieber eingestellt und dann abgelesen wurde. Durch Hinzufügung zu den Höhen der Standpunkte ergeben sich so viel Zahlen für die Höhe eines Terrainpunktes, als Strahlen (beziehungsweise Negative) für ihn vorhanden sind, also mindestens zwei. Stimmen sie genügend überein und sind sie wegen zu verschiedener Entfernung oder Deutlichkeit der Bilder nicht gar zu ungleichwerthig, so wird das Mittel daraus gezogen, der Punkt im Plane mit Tusche bezeichnet und die gefundene Höhe in Metern (mit Weglassung der Tausender) hinzugeschrieben. Dem Einflusse der Erdkrümmung und Refraction war bei diesen Höhenbestimmungen nur insofern Rechnung getragen, als bei Rectification des Horizontes auf dem Negative die Höhe desjenigen trigonometrischen Punktes, der den gerade zu construierenden Punkten zunächst lag, an-

Photogrammetrische Lagen- und Höhenbestimmung.

¹⁾ Von der Berücksichtigung der geringen Variation der Bildweite konnte dabei abgesehen werden.

gewendet wurde. Die ihm entsprechende Depression des Horizonts gieng damit gleichmässig auf die benachbarten photogrammetrischen Punkte über.

Die Genauigkeit der photogrammetrischen Punktbestimmung.

In der soeben beschriebenen Weise bestimmte ich zunächst Lage und Höhe von 833 Punkten des Firnfeldes. Infolge der grossen Zahl überschüssiger Messungen belief sich die Gesamtheit der Einzelbestimmungen auf 2329, sodass auf jeden Punkt durchschnittlich 2·8 Einzelbestimmungen treffen. Vergleicht man jede Einzelbestimmung mit dem Mittelwerth, zu dessen Bildung sie beitrug, so ergeben sich 2329 Widersprüche, deren Discussion ein willkommenes Material zur Beurtheilung der Genauigkeit photogrammetrischer Höhenmessungen liefert. Zu diesem Zwecke habe ich die 2329 Widersprüche in eine Tabelle mit doppeltem Eingang geordnet, einerseits nach ihrer absoluten Grösse, anderseits nach der Entfernung, auf welche die Bestimmung erfolgte. Diese Tabelle, welche ich zuerst in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1896, S. 225, veröffentlichte, ist nachstehend wieder abgedruckt. In der letzten, mit Summe überschriebenen Verticalreihe derselben sind die Anzahlen aller Widersprüche zwischen 0·0 m und 0·4 m u. s. f. zusammengestellt; in der vorletzten Horizontalreihe die Gesammtzahl der Bestimmungen auf Entfernung zwischen 100 m und 500 m u. s. f.

Anzahl der Widersprüche zwischen bestimmten Grenzen bei Messungen auf bestimmte Entfernungen.

	100 m bis 500 m	600 m bis 1000 m	1100 m bis 1500 m	1600 m bis 2000 m	2100 m bis 2500 m	2600 m bis 3000 m	3100 m bis 3500 m	3600 m bis 4000 m	4100 m bis 4500 m	4600 m bis 5000 m	
	Mittel 350 m	Mittel 800 m	Mittel 1300 m	Mittel 1800 m	Mittel 2300 m	Mittel 2800 m	Mittel 3300 m	Mittel 3800 m	Mittel 4300 m	Mittel 4800 m	Summe
0·0—0·4 m	25	78	147	144	93	61	32	13	4	1	598
0·5—0·9 m	16	73	123	129	72	56	51	9	5	2	536
1·0—1·4 m	8	60	114	98	76	64	35	10	6	0	471
1·5—1·9 m	2	19	61	66	46	41	46	12	2	5	300
2·0—2·4 m	0	11	27	27	29	29	25	8	1	2	159
2·5—2·9 m	0	2	11	38	19	16	15	6	2	0	109
3·0—3·4 m	0	1	2	10	19	16	15	5	1	0	69
3·5—3·9 m	0	0	5	6	9	5	10	2	2	0	39
4·0—4·4 m	0	0	3	2	3	3	6	4	1	1	23
4·5—5·0 m	0	0	2	1	4	2	4	6	1	5	25
Summe	51	244	495	521	370	293	239	75	25	16	2329
m. F. f. 1000 m	2·54 m	1·64 m	1·23 m	0·98 m	0·90 m	0·75 m	0·75 m	0·78 m	0·62 m	0·78 m	

Die Berechnung der Höhenunterschiede geschah ausschliesslich mittels eines 250 mm langen Rechenschiebers. Da Höhenunterschiede von mehreren hundert Metern vorkamen, ist der Einfluss der Rechenunschärfe ganz erheblich, doch wäre eine logarithmische Rechnung viel zu zeitraubend gewesen.

Um zu einem Mittelwerth des mittleren Fehlers einer Höhenbestimmung zu gelangen, kann man die Summe der Quadrate der Widersprüche: 5752 durch die Zahl der überschüssigen Messungen: 2329 - 833 = 1496 dividieren und die Quadratwurzel aus dem Quotienten ziehen. Man erhält dann 1.96 m. Diese Zahl lässt sich auch als mittlerer Fehler einer Höhenbestimmung auf eine »mittlere Entfernung« deuten. Das einfache arithmetische Mittel der Entfernungen ist 2027 m. Es mag für eine Ueberschlagsrechnung das arithmetische Mittel gleich jener »mittleren Entfernung« gesetzt werden. Es ergiebt sich dann, dass der mittlere Fehler einer Höhenbestimmung pro Kilometer ca. 1.0 m beträgt.

Da für 833 Punkte 2329 Bestimmungen vorliegen, so ist ein Punkt durchschnittlich 2.8 mal bestimmt und daher der mittlere Fehler der Höhe eines photogrammetrischen Punktes auf 1.96 m: $\sqrt{2.8} = 1.17$ m zu schätzen.

Eine zunächst auffallende Erscheinung lässt unsere Tabelle noch erkennen, nämlich eine Zunahme der relativen Genauigkeit einer Höhenbestimmung mit der Entfernung. Vertheilt man nämlich die 1496 überschüssigen Messungen proportional auf die für die verschiedenen Entfernungsintervalle überhaupt ausgeführten Messungen, so kann man für jedes Entfernungsintervall einen m. F. einer Höhenbestimmung und daraus einen relativen m. F. pro Kilometer Entfernung rechnen. Das Ergebniss dieser Rechnung steht in der letzten Horizontalreihe der Tabelle. Es ist demnach die relative Genauigkeit einer Höhenbestimmung auf eine Entfernung unter 500 m dreimal geringer als auf eine solche zwischen 2500 bis 5000 m. Die nächstliegende Erklärung wäre wohl die, dass man annimmt, die Höhenunterschiede der photographischen Stationen seien mit einem m. F. von etwa 0.6 m behaftet, der dann hauptsächlich bei den nahen Bestimmungen zur Geltung kommt. Allein dem widerspricht das Resultat der trigonometrischen Messungen, welche einen m. F. von nur 0.25 m zulassen. In der That ist der Grund der Erscheinung ganz subjectiv. Wenn man, wie im vorliegenden Falle, meist auf mehrere Kilometer Entfernung misst, wo schon die Meter anfangen, unsicher zu werden, pflegt man sich bei den vereinzelten nahen Punkten nicht mit den Decimetern zu quälen. Ferner kommen bei den nahen Punkten naturgemäss am häufigsten steile Visirlinien vor und damit Unsicherheit der Identificierung, vermehrter Einfluss des Fehlers der Horizontalposition u. dgl., lauter Umstände, welche nicht rechtfertigen würden, bei der Mittelbildung den nahen Bestimmungen dasjenige Uebergewicht über die fernen einzuräumen, das ihnen theoretisch zukäme.

Aus dem mittleren Fehler einer Höhenbestimmung gleich einem Tausendstel der Entfernung (in Winkelmaass 3') darf man auf eine unter günstigeren Umständen etwa gleich grosse Genauigkeit der Identificierung eines Punktes in horizontaler Richtung auf verschiedenen Photographien schliessen und hat hiernach die Sicherheit der Horizontalpositionen zu veranschlagen. Es geht daraus hervor, dass der mittlere Coordinatenfehler einer aus zwei Strahlen bestimmten Position, jedenfalls grösser als ein Tausendstel des längeren Strahles ist und auch bei drei und vier Strahlen kaum unter ein Tausendstel der mittleren Strahlenlänge sinkt. Damit stimmen die Beobachtungen über die »fehlerzeigenden Figuren«, die auf einen mittleren Coordinatenfehler von einigen Metern hindeuten.

Zur Beurtheilung der photogrammetrischen Leistung ist es wichtig, ausser der erzielten Genauigkeit auch den für die Constructionen und Rechnungen nöthigen Zeitaufwand kennen zu lernen. Nach meinen Erfahrungen stellt sich der letztere derart, dass die Bestimmung von 25 Punkten aus je drei Strahlen schon eine sehr schöne Tagesleistung ist. Dabei ist eine Hilfskraft vorausgesetzt, welche die dictierten Ablesungen am Negativ aufschreibt, die Correctionen besorgt, die Resultate

Zunahme
der relativen Ge-
nauigkeit mit der
Entfernung.

Zeitaufwand für
photogrammetri-
sche Construk-
tion.

der Schieberrechnung registriert und bei der Addition und Mittelbildung mitrechnet. Die Orientierung der Bildebenen ist dabei nicht mit inbegriffen, auch sind glatte Verhältnisse, also vor allem klare Negative vorausgesetzt. Die Zahl der Fälle, in welchen dabei Missstimmigkeiten in den Proben eine Wiederholung der Messung und Rechnung nötig machen, darf nicht unter zehn Procent veranschlagt werden. Sind aber die Verhältnisse ungünstig, ist das Terrain unübersichtlich oder sind die Bilder bei schlechter Beleuchtung oder unter sehr verschiedenen Umständen aufgenommen, dann wird man mit der halben angegebenen Leistung immer noch zufrieden sein dürfen. Auf die Richtigkeit der ermittelten Punkte üben ungünstig aufgenommene Bilder sehr wenig Einfluss, viel weniger, als man erwarten sollte, ja nicht einmal die Reichhaltigkeit der Cotierung leidet wesentlich, nur der zum Zusammensuchen und Messen nötige Zeitaufwand wird grösser.

Wenn der Anfänger an die Photogrammetrie herantritt, hält er gewöhnlich das Aufsuchen zusammengehöriger Punkte für schwierig und bedenklich. Die ersten Schwierigkeiten sind aber durch Uebung bald überwunden und wenn man nur fleissig die zahlreichen Proben benützt, dann schwindet nicht nur die Bedenklichkeit wegen möglicher Irrthümer, es bildet sich vielmehr allmählich eine Fertigkeit im Auffinden zusammengehöriger Punkte aus, die dem Uneingeweihten räthselhaft erscheint. Gerade in diesem Punkt haben sich meine Anschauungen im Laufe der Zeit sehr zu Gunsten der Photogrammetrie modifiziert, und wenn ich früher die Aufnahme flacher Firnfelder oder unübersichtlichen gewellten Terrains für unthunlich erklärt habe, so stehe ich jetzt nicht an, dieselbe unter günstigen Verhältnissen nicht nur für möglich, sondern sogar für praktisch zu halten.

Zweierlei früher nicht beachtete Punkte haben mich zu diesem Resultate geführt. Gewöhnlich sucht man bei Auswahl der Standpunkte die Mitte zwischen folgenden beiden Extremen zu halten; einerseits grosse Entfernung der Standpunkte, günstige Schnitte in der Construction, aber schwierige, unsichere Identificierung auf den Bildern, andererseits kleine Entfernung der Standpunkte, spitze Schnitte, aber bequeme sichere Identificierung und reichliche Dotierung der Karte mit Punkten. In ungünstigem Terrain ist es nun am besten, beide Extreme zu combinieren und zwei weiter auseinanderliegende Paare von benachbarten Stationen zu wählen. Die Bilder eines Paares benachbarter Stationen gewähren die bessere Uebersicht der Terrainformen, die zweier auseinanderliegender Stationen die grössere Genauigkeit der Construction. Werden einzelne Punkte ausserdem auf doppelte Weise bestimmt, so vermeidet man die systematischen Fehler, welche sich beim Construieren aus spitzen Schnitten leicht einschleichen. Die Photogrammetrie verfügt ausserdem über ein Constructionselement, das die gewöhnlichen Messmethoden zumeist unbenützt lassen, das sind die Conturen der Terrainformen auf den Bildern. Dasselbe ist besonders für flache Formen, z. B. Firnmulden von Bedeutung, und hier muss man einige Standpunkte geradezu so wählen, dass diese Conturen möglichst zahlreich und wohldefiniert auftreten. Auf den Bildern sind sie wegen der verminderten Helligkeit noch dazu weit besser zu erkennen als in der Natur. Zur Construction der Horizontalcurven werden diese Conturen in folgender Weise verwendet. Jede Contur bestimmt mit dem perspektivischen Centrum des Bildes einen Tangentialkegel an die betreffende Terrainform, dessen Spitze im photographischen Standpunkt liegt. Dieser Kegel wird von der Ebene einer bestimmten Horizontalcurve A nach einer Curve B geschnitten, welche die Curve A in einem Punkte berührt. Hat man nun die Curve B auf dem Plane construiert, so weiss man, dass die Curve A so verläuft, dass sie die Curve B berührt. Die Construction der Curve B , von der man immer nur ein ganz kurzes Stück nötig hat, geschieht in der Weise, dass man im Plane

Verwendung
der Conturen zur
Zeichnung der
Höhenkurven.

auf einigen Strahlen durch den Standpunkt Strecken von der Länge $h \operatorname{ctg} \beta$ aufträgt und ihre Endpunkte verbindet. Hierbei bedeutet h den Höhenunterschied des Standpunkts gegenüber der Horizontalcurve A , β den Verticalwinkel nach dem-

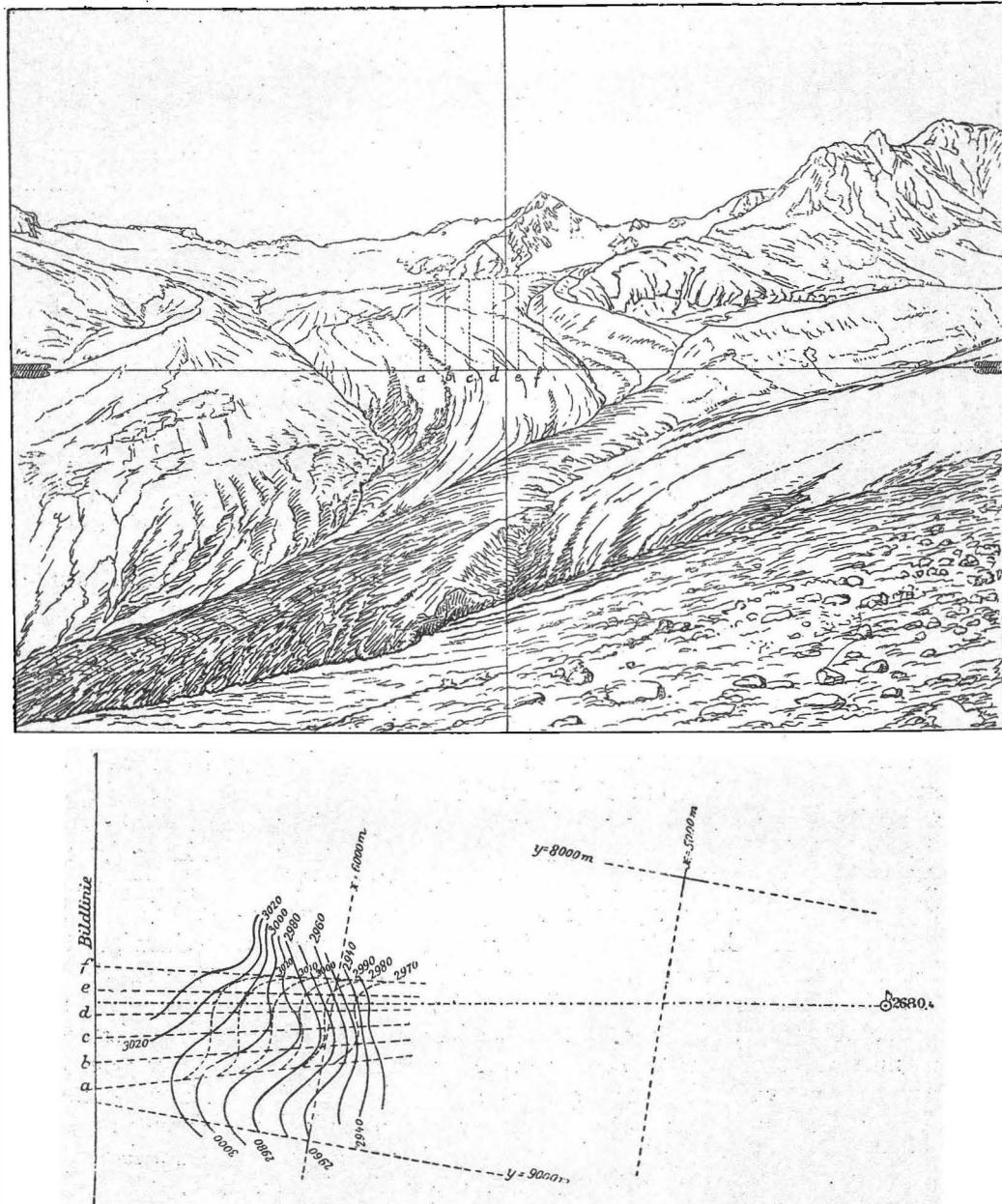


Fig. 10. Photogrammetrische Verwerthung der Conturen.

jenigen Punkte der Contur, der in der Lothebene des betreffenden Strahles liegt. Da man nicht blass eine Curve B , sondern gleich eine ganze Serie, zu Horizontalcurven A von verschiedener Höhe gehörig, zeichnen wird, ergeben sich noch einige naheliegende Constructionsvereinfachungen, die darin begründet sind, dass die Curven B

als parallele, ebene Schnitte des Tangentialkegels alle ähnlich sind und in Bezug auf den Standpunkt ähnlich liegen. Bei der Vernagtfernervermessung habe ich von dem Hilfsmittel der Conturen in den flach gewellten Firnmulden häufig und mit gutem Erfolg Gebrauch gemacht.

Die umstehende Fig. 10 giebt ein Beispiel der Verwendung der Conturen.

Nachdem ich die bei der Statistik besprochenen 833 Punkte gleichsam in einem Zuge construiert hatte, stellte sich bei dem Versuche, die Felsformen und Höhenkurven zu entwerfen, der Übelstand heraus, dass infolge der längeren seit der Construction verflossenen Zeit manche Einzelheiten der Identificierung der Punkte trotz Bezeichnung und Nummerierung derselben auf den Positiven aus dem Gedächtniss entschwunden waren, so dass nicht selten Nachmessungen angestellt werden mussten. Es wurden daher in der Folge nur eine weit geringere Zahl von Punkten in einem Zuge festgelegt und daran anschliessend der Entwurf des Terrains vorgenommen. Allerdings musste ich bei dieser zerstückelten Thätigkeit auf die Verwendung einer Hilfskraft und damit auf eine weitere Ausdehnung der Statistik verzichten. Die durchschnittliche Zahl der Bestimmungen für einen Punkt hat sich aber nicht verringert und die Genauigkeit eher vergrössert. Im Ganzen sind ungefähr 2000 Punkte photogrammetrisch bestimmt worden, wozu angenähert 6000 Höhenrechnungen nöthig waren, wenn man die bei den Conturenconstructionen erforderlichen mit einbezieht. Über die Vertheilung der Punkte über das Messungsgebiet giebt die nebenstehende graphische Darstellung (Fig. 11) Auskunft, in welcher die kleinen Zahlen angeben, wieviel Punkte in dem betreffenden Viertelsquadratkilometer enthalten. Die grossen Zahlen beziehen sich auf die ganzen Quadratkilometer.¹⁾

Gesamtzahl
der bestimmten
Punkte. Verthei-
lung derselben
auf die Karten-
fläche.

Zeichnung der
Höhencurven.

Bei Herstellung der Höhencurven, besonders im Felsterrain, wurde folgendermassen vorgegangen. Zuerst wurden nach den Photographieen in das Netz der construierten Punkte die Umrisse und die charakteristischen Leitlinien (Sohl- und Rückenlinien, Bruchlinien) gezeichnet und dann die Höhencurven nach Maassgabe der gemessenen Punkte und der aus den Bildern sicher erkennbaren Abstufungen der Böschungen entworfen. Dies erforderte meist eine Correctur der früher gezeichneten Leitlinien, die dann von Neuem mit den Bildern verglichen und abgeändert wurden, was wiederum eine Verschiebung der Höhencurven nach sich zog, bis schliesslich die wünschenswerthe Übereinstimmung beider Linienschaaren erzielt wurde. Bei diesem Vorgehen leidet zweifellos die künstlerische Wirkung der Felsdarstellung, die sich mit der Horizontalcurvenmanier überhaupt schwer verträgt. Dasselbe schützt aber vor unnatürlichen Übertreibungen und schliesslich sagt eine etwas schematisierte Curvendarstellung immer noch mehr und unzweideutiger über die betreffenden Formen aus, als die flotteste Felszeichnung ohne Curven. In den flacheren Schuttgebieten haben die Terrainskizzen, welche bei der tachymetrischen Aufnahme entstanden, die Grundlage für die Terrain darstellung gebildet. Vergeblich würde man sie dort durch Photogrammetrie zu ersetzen suchen. Zwar gelingt es — entgegen einer weitverbreiteten, auch von mir früher getheilten Meinung — meist, eine genügende Anzahl von Punkten zu construieren, aber der Zusammenhang der flachen Formen entgeht der Photographie so sicher wie dem Auge des fernen Beobachters; hier kann eben nur das Abschreiten des Terrains aufklären.

Auf eine Schwierigkeit, welche die Terrain darstellung von Moränen gebieten und solchen Theilen, die über oder nahe der Schneegrenze liegen, zu überwinden

¹⁾ Die 2110 Punkte der Tabelle entstammen einer Auszählung auf der später erwähnten Copie. Es sind alle in der Copie enthaltenen trigonometrischen, tachymetrischen und photogrammetrischen Punkte gezählt worden; doch sind in der Copie eine ziemliche Zahl photogrammetrischer Punkte fortgelassen worden, weil sie im Original zu dicht lagen.

hat, muss noch hingewiesen werden. Dieselbe ist in dem Mangel entwickelter gesetzmässiger Wassererosionsformen begründet. Überall überwiegt die Accumulation, verbunden mit muhrenartigem Schutttransport und schafft regellos geböschte, zusammenhangslose Formen. Daher auch die capriösen Windungen der Horizontalcurven, die gar nicht jenen gleichen, die man im Gebiete normaler Wassererosion zu finden gewohnt ist.

Wie früher auf Seite 36 auseinandergesetzt wurde, ist die Originalzeichnung der Karte in einem um 0·2 Procent vom gewollten verschiedenen Maassstabe her- Herstellung einer maasshältigen Copie der Karte

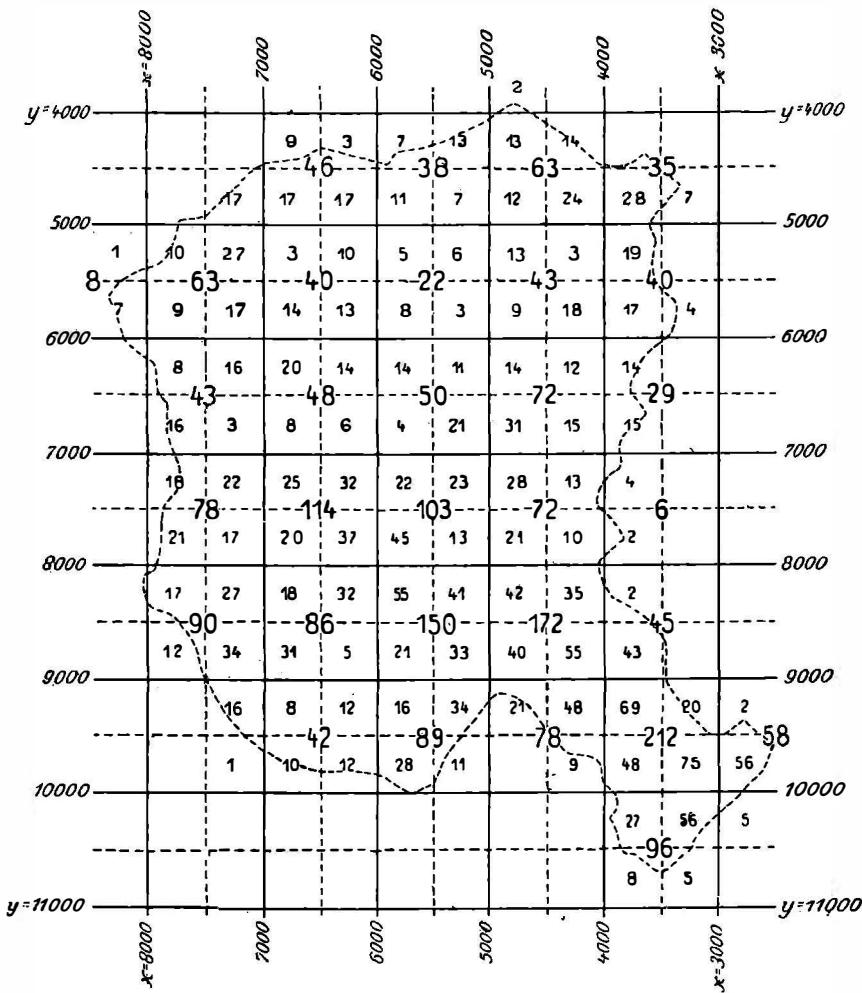


Fig. 11. Vertheilung der gemessenen Punkte.

gestellt. Dieser Umstand, sowie die fortdauernden, wenn schon nicht grossen Deformationen des Reissbrettes bestimmten mich, eine Copie im genauen Maassstabe 1:7500 auf einer möglichst unveränderlichen Unterlage herstellen zu lassen. Als soche wählte ich eine Zinktafel von 0'75 mm Dicke, auf welche das Zeichenpapier mit der ganzen Fläche aufgeklebt war. Die trigonometrischen Punkte wurden nach den Coordinaten neu aufgetragen und die Höhencurven und photogrammetrischen Punkte in Stücken von der Grösse eines Viertelquadratkilometers gepaust. Innerhalb eines solchen Stückes war der Maassstabunterschied des Originals und der Copie verschwindend.

Reproduction
der Karte.

Im Sommer 1895 begann die Reproduction der Karte. Zuerst wurde eine photographische Copie des Originale im Maasse 1:10 000 hergestellt und nach dieser das System der Horizontalcurven und die grosse Mehrzahl der Höhenzahlen in Kupfer gestochen. Mit Ausnahme der Zahlen für die trigonometrischen Punkte wurden die Höhenzahlen unter Weglassung der Tausender nur dreistellig eingetragen und in die Richtung der Horizontalcurven geschrieben, um das Bild der letzteren möglichst wenig zu stören. Die ursprüngliche Absicht, auf die gleiche Kupferplatte eine Schummerung zur Charakterisierung des Terrains auftragen zu lassen, musste aufgegeben werden, da sich ein entsprechender Effect, namentlich im Felsgebiete, nicht erzielen liess.

Schummerung
des Terrains.

Daher arbeitete ich auf einem Abdruck der Horizontalcurvenplatte eine ins Detail gehende Schummerung nach dem Principe der verticalen Beleuchtung auf Grund einer bestimmten Tonscala aus. Für die mittleren und schwachen Neigungen, wie sie auf schuttbedecktem Terrain vorkommen, ergab dieselbe ein ganz ansprechendes Bild und nur bei den starken Neigungen im Felsterrain machten sich die bekannten Schwierigkeiten geltend, die einer consequenten Durchführung der verticalen Beleuchtung im Wege stehen. Da dort die feineren Formen vielfach weniger durch Neigungsunterschiede, als durch plötzlichen Wechsel in der Streichrichtung, z. B. bei Gräten und Gräben bestimmt sind, wird jede Schattierung, welche nur nach der Neigung abgestuft ist, ein ausdrucksloses Bild geben. Der Übelstand wird noch vermehrt, wenn, wie es in der Regel der Fall sein wird, in den schroffen Regionen die Tonscala eng begrenzt ist. Ein plötzlicher Übergang zur schiefen Beleuchtung in den Felsregionen, wie es bei Karten kleineren Maassstabes häufig üblich ist, bringt in dem grossen Maassstabe unerträgliche Härten mit sich; ja selbst eine consequente Durchführung der schiefen Beleuchtung empfiehlt sich — abgesehen von den Unzuträglichkeiten in den flacheren Gebieten — schon um dessentwillen nicht, weil bei den grossen, ungeschlossenen Formen, die das dargestellte Terrain im Ganzen aufweist, Licht und Schatten gar zu ungleich vertheilt sind.

Combination
von verticaler
und schiefem Be-
leuchtung im
Felsgebiet.

Wollte man nun nicht in eine, mir durchaus unsympathische, regellose »Gefühlsmanier« verfallen, so blieb nur ein Ausweg, den ich auch eingeschlagen habe und allgemein zur Nachahmung empfehle. Man lässt bei den grossen Formen der verticalen Beleuchtung ihr Recht, indem man den durchschnittlichen Tonwerth nach der einmal festgesetzten Scala den mittleren Neigungen anpasst. Bei dem Detail innerhalb der grossen Formen wendet man dagegen schiefe Beleuchtung an, wobei man z. B. in den Gräben oder an den Gräten die eine Seite dunkler, die andere heller behandelt, ohne sich übrigens in den verschiedenen Theilen der Karte streng an eine Beleuchtungsrichtung zu halten. Es genügt, dieselbe innerhalb einer grösseren Form einheitlich zu wählen. Auf diese Weise erreicht man Zweierlei, was sich sonst gegenseitig auszuschliessen scheint: erstens eine rasche, zweifellose Übersicht über die Vertheilung der Böschungen, die namentlich beim Besehen der Karte aus der Ferne gewahrt bleibt, und zweitens ein klares und bestimmtes Detail, das beim Nähern des Auges aus den grossen Formen auftaucht. Man wird es auch nicht verschmähen, durch die Wahl der Strichlagen, dem geologischen Charakter des dargestellten Gebietes möglichst gerecht zu werden, wenn schon bei einem durchgehenden Horizontalcurvennetze die Strichlage ziemlich beschränkt ist. Um dem Kupferstecher auch nach dieser Richtung Anhaltspunkte zu geben, habe ich meine mit dem Stift hergestellte Terrainzeichnung im Felsengebiet durch Herrn Kiermaier, Topograph und Kupferstecher am k. b. topographischen Bureau, mit der Feder überarbeiten lassen. Seine gründliche Kenntniss der Reproductionstechnik und der Terränaufnahme und seine Übung in der Felsdarstellung nach Photo-

graphieen haben ihn zu dieser Arbeit besonders befähigt. Dass er meinen eigenen Ideen Verständniss und guten Willen entgegengebracht hat, danke ich ihm ganz besonders. Die Fig. 12 giebt eine mechanische Reproduction der auf die besprochene Weise zu stande gekommenen Terrainschummerung und Felszeichnung.

Bei ihrer Wiedergabe in Kupferstich ist neben meiner Vorlage auch die Tradition und die künstlerische Auffassung des kartographischen Instituts in Hildburghausen zur Geltung gekommen. Die Einheitlichkeit der Tonscala hat hierunter erklärlicherweise vielfach gelitten, aber das Gesamtresultat macht, wie man mir wiederholt versichert hat, dem Institut alle Ehre.

Schliesslich ist noch ein heikler Punkt zu berühren, der nach meinen Erfahrungen sonst mit grosser Consequenz todgeschwiegen wird, nämlich die Genauigkeit der Reproduction im Verhältniss zur Originalzeichnung. In unserem Falle wirken folgende Fehler zusammen: 1. Fehler der photographischen Reduction a) infolge des mangelnden Parallelismus von Zeichenbrett und photographischer Platte bei der Exposition, b) infolge unvollkommener Ebenheit der Platte, die bei dem grossen Format und dem dadurch bedingten grossen Bildfeld des Reproduktionsobjectivs sehr einflussreich wird, c) infolge des nach den Hauptrichtungen verschiedenen Papiereingangs der photographischen Copie; 2. Fehler in der Übertragung der letzteren auf die Kupferplatten; 3. Papiereingang des Abdruckes von den Kupferplatten.

Die Discussion dieser Fehler einflüsse ist zwar lehrreich, aber wenig erfreulich. Für die praktische Benutzung der Karte ist zu

erwägen, dass die unter 1a, 1c und 3 genannten Fehler grossentheils systematischen Charakter tragen und die anderen, in erster Linie zufälligen Fehler, überwiegen. Erstere treten im vollen Betrage auf, wenn man auf der Karte mit einem beliebigen Millimetermaassstab Distanzen abnimmt. Sie werden etwas verringert, wenn man sich dabei des gedruckten Maassstabes auf der Karte bedient. Auf einen erträglichen Bruchtheil kann man sie aber nur dadurch reduzieren, dass man auf die directe Messung der Distanzen verzichtet und statt dessen die Coordinaten der Endpunkte der zu messenden Strecke ermittelt, aus denen dann die Distanz mittels Quadrat-

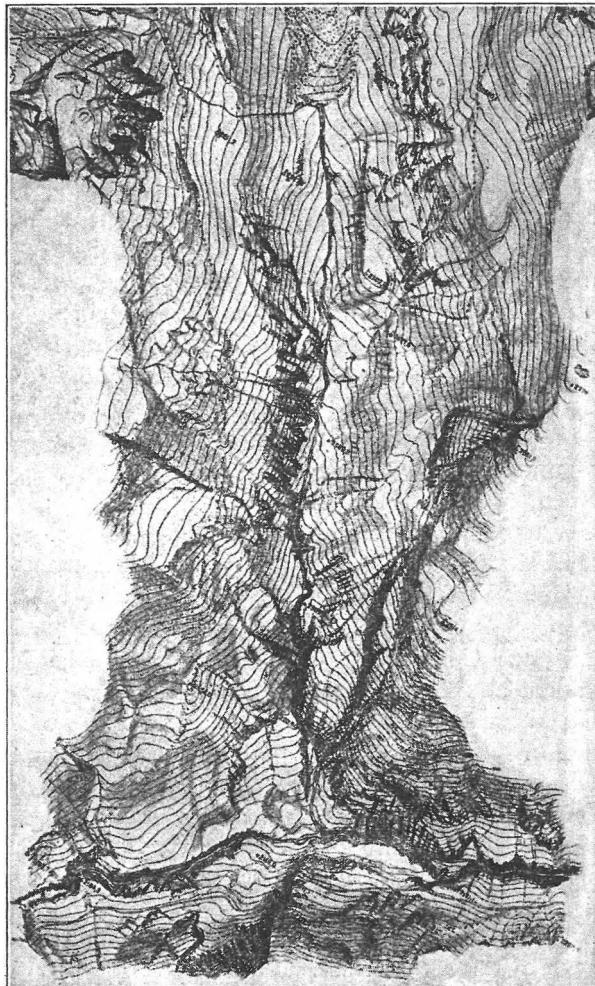


Fig. 12. Der Vernagtgraben.

Genauigkeit]
der Repro-
duction.

Ermittlung von
Distanzen und
Coordinaten
aus der Karte
im richtigen
Maasse.

tafeln gerechnet wird. Die einfache Methode zur Ermittlung der Coordinaten ist folgende: Man zeichne das den betreffenden Punkt A umschliessende Kilometerquadrat, dessen Ecken E_1, E_2, E_3, E_4 auf der Karte durch Kreuze markiert sind. Infolge des Papiereingangs sind seine Seiten kleiner als 100 mm. Daher kann man die Strecken $E_1M = E_3N = E_2P = E_4Q = 100 \text{ mm}$ in die Figur eintragen. Je nachdem die Figur E_1, E_2, E_3, E_4 infolge des Papiereingangs etc. ein Parallelogramm oder ein unregelmässiges Viereck geworden ist, werden E_1M und NE_3 , sowie E_2P und QE_4 parallel sein oder nicht. In ersterem Falle zieht man AB parallel zu E_1M und AC parallel zu E_2P , in letzterem Falle wird AB nach dem Schnittpunkt von E_1M und NE_3 , AC nach dem von E_2P und QE_4 gezogen. Misst man nun AB und AC mit dem gleichen Maassstab, den man zum Eintragen der vier obengenannten Strecken $E_1M = E_3N = E_2P = E_4Q = 100 \text{ mm}$ benützte, so bekommt man die von systematischen Fehlern freien Coordinaten im Kilometerquadrat, die noch um die entsprechenden Tausender des Kilometerquadrats zu vermehren sind. Beispiel: Es soll die Entfernung der beiden trigonometrischen Punkte Nr. 16 (Todtenhügel 2309.7 m) und Nr. 58 (Mittlere Guslarspitze 3126.0) aus einem Abdruck der Karte entnommen werden. Die directe Ablesung an einem Millimetermaassstabe giebt 1872 m; die Übertragung auf den Kartenmaassstab 1897 m.

Die Coordinaten von Nr. 16 wurden nach obigem Verfahren zu $x = 3663 \text{ m}$, $y = 9534 \text{ m}$ ermittelt, die von Nr. 58 zu $x = 5496.5 \text{ m}$, $y = 9963 \text{ m}$. Hieraus berechnet sich die Entfernung zu 1883 m. Aus den Coordinaten der Tabelle findet man die Entfernung gleich 1883.9. Es ergiebt also die Messung an einem beliebigen Maassstab einen Fehler von -11.9 m , die Messung am Kartenmaassstabe einen Fehler von $+12.1 \text{ m}$, die Rechnung aus den graphisch ermittelten Coordinaten dagegen einen solchen von nur -0.9 m . Die grossen Differenzen bei den beiden ersten Verfahren finden ihre Erklärung in dem Umstände, dass die deformierten Kilometerquadrate in der Richtung der Y -Coordinaten (Längsrichtung des Papierformates) um mehr als ein Prozent grösser sind, als in der Richtung der X -Coordinaten (Querrichtung des Papierformates), während der Maassstab dem Mittelwerth angepasst wurde.¹⁾

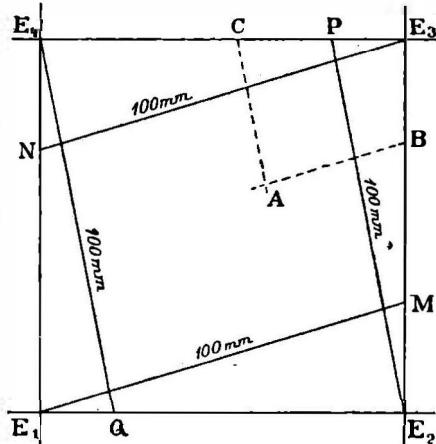


Fig. 13.

¹⁾ Ich will nicht unerwähnt lassen, dass im k. u. k. Militär-geographischen Institut in Wien durch den Official Sommer eine Spannvorrichtung konstruiert wurde, mittels welcher der mit einem leichten Gewebe (Molinos) hinterklebte Druck nach zwei Richtungen beliebig gestreckt werden kann. Vergl. Mittheilungen des genannten Instituts. IX. Bd., 1889, S. 156.

III. Theil. Die Resultate der Vernagtferner-Vermessung.

Theoretische Vorbemerkungen.

Je länger ich mich mit den Gletschern beschäftigte, je mehr ich sie in der Natur beobachtete und dadurch ihren Erscheinungen auf den Grund zu kommen suchte, je öfter ich mich veranlasst sah, meine Beobachtungen und Erklärungsversuche andern auseinanderzusetzen, umso peinlicher drängte sich mir das Bedürfniss einer bestimmten Theorie der Gletscherbewegung auf, die, wie unvollkommen sie auch sein mag, gestattet, einen grösseren Bereich von Erfahrungsthatsachen unter einem Gesichtspunkt zusammenzufassen und so deren Diskussion vorläufig zu erledigen, zu welcher ferner die weiteren Erfahrungsthatsachen in ein übereinstimmendes, oder widersprechendes oder gleichgültiges Verhältniss gebracht werden können und die demnach den Ausgangspunkt für die Gewinnung neuer und die Ordnung bekannter Thatsachen bilden kann. Bei dem derzeitigen Zustand unserer Erkenntniss der Gletschererscheinungen, die noch durchaus lückenhaft ist, wird diejenige Theorie am meisten Chancen haben, die möglichst voraussetzungslös ist und den verschiedensten hypothetischen Standpunkten angepasst werden kann. Eine auf physikalischen Grundlagen, z. B. der Regelation oder auf mechanischen Grundlagen wie der inneren Reibung fussende Theorie entspricht dem obengenannten Bedürfniss schon deswegen nicht, weil wir ausser Stande sind, sie bis zu den alltäglich beobachteten Erscheinungen der Gletscherbewegung durchzuführen. Es schien mir der einfachste und sicherste Ausweg der zu sein, auf rein geometrischer Grundlage eine Theorie aufzubauen, die den Erscheinungen möglichst gerecht wird und Raum für spätere mechanische und physikalische Erweiterung oder Vertiefung lässt. Dabei kommt alles auf eine glückliche Schematisierung der zu behandelnden Erscheinung an, die eintheils so weit gehen muss, dass wir das Schema mit unseren geometrischen Hilfsmitteln beherrschen können, anderentheils nicht so weit gehen darf, dass die thatsächlichen Erscheinungen in dem Schema kein Analogon mehr finden. Als solches Schema für die Gletschererscheinungen schlage ich in Anlehnung an zahlreiche Beispiele der theoretischen Physik eine stationäre und — von Ausnahmestellen abgesehen — stetige Strömung vor, die uns zu dem abstracten Begriff eines stationären Gletschers führen wird.

Der stationäre Gletscher.

Denken wir uns ein Gefäss mit festen Wänden von strömender Materie erfüllt, so sprechen wir dann von einer stationären Strömung, wenn die Geschwindigkeit an jeder Stelle im Innern und an der Wand nach Grösse und Richtung unabhängig von der Zeit ist, das heisst im Verlaufe derselben sich nicht ändert. Wir nennen die Strömung ausserdem stetig, wenn in räumlich benachbarten Punkten die Geschwindigkeit nach Richtung und Grösse benachbart ist. Insbesondere setzen wir auch voraus, dass Theilchen, welche einmal benachbart sind, im Verlaufe der Be-

Stationäre und
stetige
Strömung.

wegung auch stets nebeneinander und Theilchen, die einmal der Wand benachbart sind, dieser auch stets benachbart bleiben. Im Verlaufe der Bewegung beschreibt ein Theilchen eine Stromlinie. Benachbarte Theilchen beschreiben also benachbarte Stromlinien. Die Form und Lage der einzelnen Stromlinien ist unabhängig von der Zeit. Eine Stromlinie kann nicht von der Wand des Gefäßes ins Innere treten und umgekehrt. In einer von lauter Stromlinien gebildeten Röhre muss durch jeden beliebigen Querschnitt dasselbe Quantum Materie in derselben Zeit befördert werden.

Trennen wir durch eine ideale Fläche einen Theil $a b c$ (siehe Fig. 14) des von strömender Materie erfüllten Raumes und der begrenzenden Wand von dem übrigen ab, so kann in diesem Theil die ursprüngliche Bewegung aufrecht erhalten werden, wenn wir an gewissen Stellen, z. B. $a b$ der Trennungsfläche Materie zuführen, an anderen Stellen, z. B. $b c$ Materie entfernen. An solchen Stellen, wie $a b$, treten die Stromlinien ins Innere des betrachteten Raumes ein, an anderen, wie $b c$, aus dem betrachteten Raum heraus. Diejenigen Theile der Trennungsfläche, in welchen ein Eintritt von Materie stattfindet, werden von denjenigen, in denen Materie austritt, durch eine Curve geschieden, längs welcher die Stromlinien die Trennungsfläche berühren.

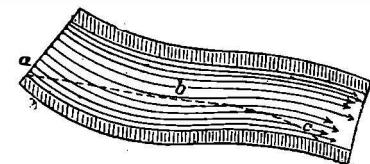
Firngebiet und
Abschmelzungs-
gebiet.

Fig. 14.

Als einen solchergestalt abgegrenzten Theil stationär und stetig bewegter Masse wollen wir nun unseren schematisierten Gletscher auffassen. Die Rolle der Wand spielt der Grund des Gletschers, die Trennungsfläche ist die stationär vorausgesetzte Oberfläche des Gletschers; der Theil derselben, in den Materie in Form von Schnee eintritt, ist das Firngebiet; der andere, aus dem Materie in Form von Wasser austritt, ist das Abschmelzungsgebiet; die Grenzlinie ist die Firnlinie. Bei diesem Schema ist die in Wirklichkeit vorhandene, mit den Jahreszeiten intermittierende Zu- und Abfuhr durch eine kontinuierlich und gleichförmig über das Jahr vertheilte ersetzt. Auch ist eine Vernichtung oder Neubildung der bewegten Eismassen am Grunde oder im Innern des Gletschers ausgeschlossen. Die Abschmelzung durch die Erdwärme, die sich auf wenige Millimeter im Jahre beläuft, ist vernachlässigt. In roher Annäherung kann die Strömung des Eises als die einer incompressiblen Masse angesehen werden. Wenn schon die Dichte des frischgefallenen Schnees sehr viel geringer als die des Gletschereises ist, so ist doch das Firneis, welches die Hauptmasse des Gletschers im Firngebiet bildet, bis auf wenige Procent ebenso dicht wie das Gletschereis.¹⁾ Die Annahme einer stetigen Vertheilung der Geschwindigkeiten ist für strömendes Eis jedenfalls weit zutreffender als etwa für strömendes Wasser, und zwar wegen der grossen inneren Reibung, welche das Auftreten von Discontinuitätsflächen aufs Äusserste einschränkt. Wirbelbewegungen, welche mit allen tatsächlichen Strömungen des Wassers verbunden sind und deren Complication bedingen, können bei der Eisströmung als ausgeschlossen gelten.

Abbildung des
Firngebietes auf
das Abschmel-
zungsgebiet.

Durch unsere Annahmen ist bereits eine eindeutige von der Zeit unabhängige Beziehung zwischen den Punkten der Firnfläche eines Gletschers und denen seines

¹⁾ Dass es trotzdem sehr blasenreich aussehen kann, beweist folgende einfache Überschlagsrechnung: Angenommen es seien in einem Kubikdecimeter 0,1 Procent, d. i. ein Kubikcentimeter Blasen, und zwar 1000 Stück à ein Kubikmillimeter vorhanden, so werden diese 1000 Stück in der Durchsicht auf den 100 Quadratcentimetern der Querschnittfläche des Kubikdecimeters zum Vorschein kommen, also zehn Stück pro Quadratcentimeter. Solches Eis wird man schon als ganz gespickt mit Luftblasen bezeichnen, obwohl sie nur ein Tausendstel des Raumes einnehmen.

Abschmelzungsgebietes gegeben. Jedem Punkt des Firnfeldes, auf den ein bestimmtes Theilchen Schnee fällt, entspricht ein bestimmter Punkt des Abschmelzungsgebietes, wo jenes zu Wasser wird, und beide Punkte sind durch eine im Innern des Gletschers verlaufende Stromlinie verbunden. Wir können geradezu von einer eindeutigen Abbildung des Firnfeldes auf das Abschmelzungsgebiet sprechen, welche durch die Stromlinien vermittelt wird. Die Umrandung des Firnfeldes bildet sich dabei auf die Umrandung der Gletscherzunge ab, da ja die Stromlinien eines Randpunktes immer auf dem Grunde verlaufen und daher auch am Rande wieder austreten müssen. Es ist wichtig hervorzuheben, dass an allen Theilen des Gletscherrandes, nicht etwa bloss an der eigentlichen Gletscherstirn Stromlinien austreten, so wie ja auch an allen Punkten der Firnumrandung Stromlinien eintreten. Die Firmlinie geht bei der Abbildung in sich selbst über, also auch jene Randpunkte, in welchen sie am Gletscherrande mündet. In beistehender Fig. 15 sind entsprechende Randpunkte des Firnfeldes und des Abschmelzungsgebietes mit gleichlautenden grossen und kleinen Buchstaben bezeichnet. So wie man das Firnfeld auf die Zunge durch Stromlinien abbildet, kann man auch irgend einen Querschnitt des Gletschers — sei es auf einen abwärts gelegenen Theil des Abschmelzungsgebietes, sei es auf einen aufwärts gelegenen Theil des Firngebietes — abbilden. spricht dann immer Randpunkten der abbildenden Firn- oder Abschmelzungsfläche.

Um die Abbildung übersichtlicher zu gestalten, kann man die aufeinander bezogenen Flächen mit Netzen so überdecken, dass die Maschen sich entsprechen. Wir gehen dabei am besten vom Abschmelzungsgebiet aus. Legen wir an der Firmlinie auf die Oberfläche des Gletschers einen Stein, so wird derselbe nach abwärts wandern und den von ihm beschriebenen zu einem Randpunkt der Abschmelzungsfläche führenden Weg nennen wir eine Bewegungslinie. Sie ist mit keiner Stromlinie identisch, da solche in ihrer ganzen Ausdehnung nicht auf der Oberfläche vorkommen. Geometrisch können wir die Bewegungslinie nur definieren, wenn wir eine Annahme darüber machen, wie sich der Stein auf einer abschmelzenden, aber unbewegten Eisfläche verhalten würde. Gesetzt den Fall, derselbe würde dabei einfach senkrecht nach abwärts gehen, dann wäre eine Bewegungslinie folgendermaassen durch unendlich kleine Schritte zu definieren (Fig. 16): Von einem Punkt P der Abschmelzungs-oberfläche gehen wir in der Richtung der dort austretenden Stromlinie um ein kleines Stück weiter bis P^1 ; von dort fallen wir ein Loth auf die Gletscheroberfläche, dessen Fusspunkt P_1 dann der zu P auf der Bewegungslinie benachbarte Punkt ist, von dem aus wir in ähnlicher Weise zu weiteren Punkten P_2, P_3 einer

Stromlinien und Bewegungslinien.

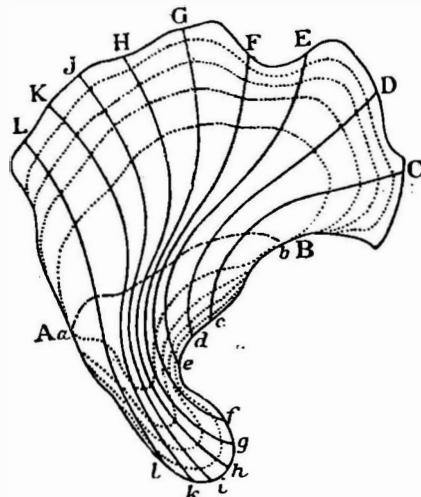


Fig. 15. Eintheilung des stationären Gletschers in Besirke gleicher Ergiebigkeit des Auf- und Abtrags.

Der Grund des Querschnittes ent- spricht dann immer Randpunkten der abbildenden Firn- oder Abschmelzungsfläche. Um die Abbildung übersichtlicher zu gestalten, kann man die aufeinander

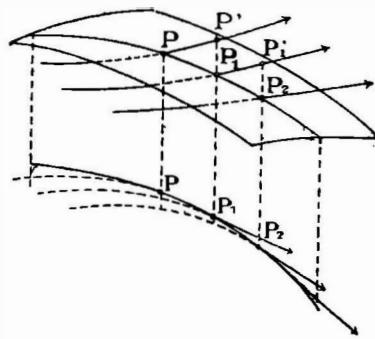


Fig. 16.

solchen Linie übergehen. Bilden wir eine solche Bewegungslinie sammt allen in ihr ausmündenden Stromlinien im Grundriss ab, so findet die Eigenthümlichkeit statt, dass die Bilder aller Stromlinien die Bewegungslinie tangieren (Siehe Fig. 16).¹⁾

Längs- und
Quertheilung
des Gletschers.

Diese Bewegungslinien können wir uns von allen Punkten der Firnlinie aus gezogen denken, und sie zerlegen dann das Abschmelzungsgebiet in beliebig viele Längsstreifen. Wir wollen die Zerlegung so vornehmen, dass auf jedem Längsstreifen in gleicher Zeit gleichviel Eis abschmilzt. Ziehen wir in den Punkten der diese Längsstreifen begrenzenden Bewegungslinien die Stromlinien und verlängern wir dieselben rückwärts bis zum Schnitt mit der Firnfläche, so wird die Eintheilung des Abschmelzungsgebietes auf das Firngebiet übertragen, und es wird durch Flächen von Stromlinien, die durch eine Bewegungslinie und ihr Bild hindurchgehen, der ganze Gletscher in Theilgletscher so zerlegt, dass keinerlei Masse von einem Theil zum Nachbartheil übergeht. Bei dieser Eintheilung muss daher auch das Firnfeld in Streifen zerlegt werden, auf welchen gleichviel Schnee fällt. Mit dieser Längstheilung des Gletschers kann man nun noch in folgender Weise eine Quertheilung combinieren. Das Abschmelzungsgebiet eines Längsstreifens theilen wir von der Firnlinie ausgehend so in Bezirke, dass in jedem gleich viel zur Abschmelzung gelangt. In dem Maasse, wie nach unten die Ablation zunimmt, werden diese Bezirke immer kleiner. Verbinden wir in den aufeinanderfolgenden Längsstreifen die gleichen Theilpunkte, so erhalten wir die gesuchte Quertheilung, die sich durch Stromlinien wieder auf das Firnfeld übertragen lässt. (Siehe Fig. 15.)

Continuitäts-
gleichung auf
der Gletscher-
oberfläche.

Betrachten wir jetzt zwei entsprechende, beliebig kleine Netzmaschen des Firnfeldes und des Abschmelzungsgebietes. Die Fläche der ersten sei dF , die der letzteren df . Die Accumulation pro Zeiteinheit auf ersterem betrage — senkrecht zur Gletscherfläche gemessen — A , die ebenso gemessene Ablation auf letzterem a . In der Masche des Firnfeldes mögen die Stromlinien unter einem Winkel Φ mit der Geschwindigkeit V gegen die Gletscherfläche einfallen, in der entsprechenden Masche des Abschmelzungsgebietes dagegen unter dem Winkel φ mit der Geschwindigkeit v austreten. Dann besteht die Beziehung:

$$dF \cdot A = dF \cdot V \cdot \sin \Phi = df \cdot a = df \cdot v \cdot \sin \varphi.$$

Jede der Seiten dieser Gleichung stellt nämlich die durch eine der Maschen bewegte Masse in der Zeiteinheit dar: die erste als Auftrag in Form von Schnee, die zweite als Menge, welche die Bewegung ins Innere des Gletschers befördert, die dritte als Abtrag im Schmelzgebiet, die vierte als Menge, welche die Bewegung aus dem Innern des Gletschers heraus fördert. Man kann die Beziehung in nachstehende einfachere zerlegen:

$$A : a = df : dF, \quad \sin \Phi = \frac{A}{V}, \quad \sin \varphi = \frac{a}{v}$$

Aus den beiden letzten Gleichungen lassen sich die Winkel ausfindig machen, welche die Stromlinien mit der Gletscherfläche bilden. Beträgt z. B. im Firnfeld die jährliche Geschwindigkeit 30 m , der Auftrag 1 m , so wird $\sin \Phi = 0.033$ oder

¹⁾ Wollen wir wissen, wie weit sich etwa der wirkliche Weg eines Steines von einer solchen geometrischen Bewegungslinie entfernt, so brauchen wir uns nur zu überlegen, wie viel in gleicher Zeit ein auf einer bewegungslosen, aber im gleichen Grade wie der Gletscher abschmelzenden Eismasse liegender Stein sich von der Verticalen entfernt. So laufen z. B. bei der Rhonegletschervermessung die Steine über 20 Jahre. Die Ablation in dieser Zeit wird wohl 70 bis 100 m betragen haben. Eine Abweichung von der Verticalen im Betrage von 10 bis 20 m ist daher nur wahrscheinlich. Eine Beobachtung, die kleinere Bruchtheile des Meters berücksichtigt, ist daher unnöthig genau. Für kürzere Zeiten haben die Herren Blümcke und Hess eine genauere Messung der Bewegung dadurch erzielt, dass sie nicht Steine oder Pfähle, sondern vertical ins Eis gebohrte Löcher als Marken benutzten. Studien am Hintereisferner. Mitth. des A.-V. 1895, S. 91, 1896, S. 46.

$\Phi = 2^\circ$. Unter diesem Winkel tritt also die Stromlinie in die Firnfläche ein. Wenn nahe am Zungenende die Geschwindigkeit auf 20 m herabgeht, während die Ablation den Betrag von 5 m erreicht, wird $\sin \varphi = 0.25$ oder $\varphi = 14.5^\circ$. Hier tritt also die Stromlinie schon ziemlich steil aus der Gletscherfläche heraus. Da die Stromlinien wohl nur in seltenen Fällen wirklich ansteigen werden, muss also hier die Böschung der Gletscherfläche wenigstens 14.5° erreichen, wie es an den Randpartien häufig zu beobachten ist. Man kann ganz allgemein schliessen: wo die Geschwindigkeit abnimmt und die Ablation wächst, muss beim stationären Gletscher auch die Böschung wachsen. Überschreitet die Ablation (oder Accumulation) den Betrag der Geschwindigkeit, so ist ein Stationärsein der Gletscheroberfläche ausgeschlossen.

Man kann den Begriff des stationären Gletschers noch weiter schematisieren, ohne die Anwendungsfähigkeit desselben wesentlich zu beschränken. Die Dicken-dimensionen der grösseren Gletscher sind namentlich im Bereich des Firnfeldes sehr klein gegenüber den Längen- und Breitenausdehnungen. Sie betragen selten ein Zehntel davon. Dieser Umstand führt uns dazu, anzunehmen, dass die Stromlinien von Theilchen, die in einem Moment senkrecht untereinander liegen, in ihrer ganzen Ausdehnung senkrecht untereinander liegen und sich also mit den zugehörigen Bewegungslinien im Grundriss durch ein- und dieselbe Curve darstellen lassen. Hierdurch gewinnt die Übersichtlichkeit des Bildes wesentlich. Für allgemeine Erörterungen ist es auch nützlich, darauf hinzuweisen, dass der oben besprochenen Abbildung von Firnfeld und Abschmelzungsgebiet im Grossen und Ganzen die Eigenschaft der Äquivalenz zukommt, insofern als unter sich gleich grossen Flächen des Firnfeldes auch unter sich gleich grosse Flächen des Abschmelzungsgebietes entsprechen. Dies röhrt daher, dass den stark ernährten, hochgelegenen und randlichen Partien des Firnfeldes, auch stark abschmelzende, tiefgelegene und randliche Partien der Gletscherzunge entsprechen, während den wenig ernährten Theilen in der Nähe der Firnlinie ebensolche, wenig abschmelzende gegenüberstehen. Als erfahrungsgemäss richtiges Äquivalenzverhältniss mag 3:1 gelten. Bei den Textfiguren ist von beiden Vereinfachungen Gebrauch gemacht.

Die Moränen eines stationären Gletschers.

Auf Grund unserer früheren Betrachtungen sollen nun die Moränenverhältnisse eines stationären Gletschers untersucht werden. Wir unterscheiden zweierlei Production von Moränenmaterial; eine solche, die am Rande des Gletschers durch Abwitterung von den Felswänden erfolgt und »Randschutt« liefert, und eine zweite, am Grunde des Gletschers stattfindende, welche den »Grundschutt« hervorbringt. Solange der Gletscher nicht nur stationär, sondern auch stetig ist, kann ins Innere der Eismasse kein Schutt gelangen. Ein solcher Gletscher kann naturgemäss nur Grund- und Obermoränen haben.

Production
des Moränen-
materials.
Randschutt und
Grundschutt.

Nehmen wir an, dass bloss die erste Art der Schuttproduction stattfinde und stellen wir uns zunächst vor, sie gienge vom Rande des Firnfeldes aus. Der Schutt wird sich alsdann in den Stromlinien, in denen er mit dem Eis in Berührung kommt, weiter bewegen, und da diese Stromlinien dem Grund des Gletschers unmittelbar benachbart sind, diesem entlang wandern, bis er schliesslich an der Umrandung der Gletscherzunge an denjenigen Punkten als Grundmoräne zum Vorschein kommt, die bei unserer geometrischen Abbildung den Productionsstellen des Schuttes im Firnfeld entsprechen. Offenbar wird die Länge der Wanderung der einzelnen Schuttmassen sehr verschieden sein, je nachdem sie mehr oder weniger nahe an der Firnlinie producirt wurden. Die unfern der Firnlinie unter den Gletscher gerathenen

Schuttmassen werden auch unfern derselben auf der Zunge wieder zum Vorschein kommen; jene dagegen, die am hintersten Rande der Firnmulde abgewittert sind, haben den Weg durch das ganze Firnfeld und die ganze Zunge durchzumachen; sie sind daher sehr viel mehr bearbeitet als jene. Gerundeter Grundmoränenschutt findet sich auch erfahrungsgemäss umso häufiger, je näher man dem Zungenende kommt. Die Anordnung des Moränenschuttet ist eine durchaus symmetrische zur Anordnung der Felswände, die den Schutt producieren.

Es ist nun die Frage nach den Obermoränen zu beantworten. Wo können wir solche bei unserem Gletscher erwarten? Zunächst nur am Rande des Schmelzgebietes. Je nachdem die seitlichen Thalwände sich gegen die Gletscherfläche verhalten, wird es vorkommen, dass von ihnen Schutt auf das Eis fällt, dass die Grundmoräne, die am Rande infolge der Bewegung ausquillt, dort liegen bleibt und sich mit dem Randschutt vermengt, oder auch dass sie von den Schmelzwassern des Gletschers weggeführt wird. Was geschieht im ersteren Falle mit dem am Rande sich anhäufenden Schutt? Er wird durch die Bewegung des Gletschers nach abwärts geführt, aber nicht wie ein einzelner Stein, der auf die Oberfläche gelegt wird, genau in Richtung der Bewegungslinien. Diese gehen nämlich

im Abschmelzungsgebiet stets gegen den Rand und würden den Schutt alsbald wieder von der Oberfläche entfernen, falls nicht neu nachdrängender Schutt dies verhindern würde. Von den beiden Componenten der Bewegung senkrecht und parallel zum Rande wird daher die erstere durch den vom Rande nachdrängenden Schutt aufgehoben; derselbe folgt nur der zweiten und wird parallel dem Rande nach abwärts geführt, bis er schliesslich an solche Stellen geräth, wo entweder die natürliche Neigung des Hanges oder der Gletscherbach die Abfuhr des Schuttet ermöglichen. Die Bildung solcher randlicher Obermoränen hängt also ganz von der

Form der Thalwände ab, die den Gletscher begrenzen. Vergleiche die Fig. 17, in welcher die Obermoräne durch Punkte dargestellt ist.

Bisher haben wir stillschweigend vorausgesetzt, dass die Gletscheroberfläche ein einfach zusammenhängendes Gebiet sei, das heisst, dass jede, zwei verschiedene Randpunkte verbindende Linie die Oberfläche in zwei Theile zerlegt. Dies ist nicht

Bildung
und Bewegung
randlicher Ober-
moränen (Seiten-
moränen).

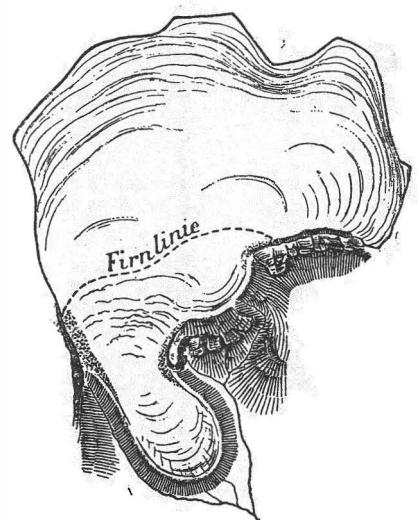


Fig. 17. Bildung randlicher Obermoränen (Seitenmoränen).

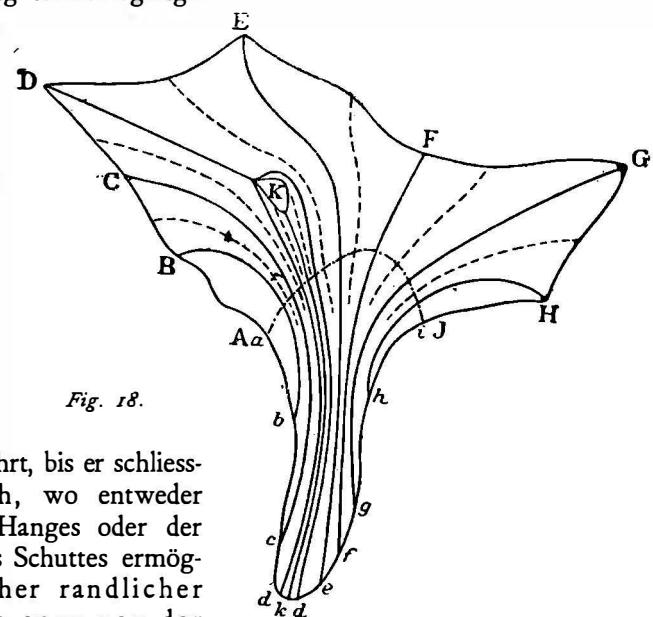


Fig. 18.

Zusammenge-
setzte Gletscher-
Entstehung der
Mittelmoränen
aus Ober-
moränen.

mehr der Fall, sobald im Innern der Gletscherfläche eisfreie Inseln auftreten. Hierdurch entsteht eine Complication insofern, als eine durchaus stetige Strömung mit den von uns vorausgesetzten Eigenschaften nunmehr nicht immer möglich ist. Ist z. B. das Firnfeld infolge einer dort auftauchenden Insel doppelt zusammenhängend, das Abschmelzungsgebiet dagegen einfach, so ist eine stetige Abbildung beider Gebiete aufeinander schon aus geometrischen Gründen ausgeschlossen. Wir wollen nun, um die Bewegung auch eines zusammengesetzten Gletschers beschreiben zu können, von der von uns vorausgesetzten Eigenschaft der Stetigkeit der Bewegung jenen Theil opfern, der aussagt, dass zwei benachbarte Theilchen stets benachbart bleiben müssen, dagegen an dem anderen festhalten, dass Theile des Grundes diesen nicht verlassen. Mit Bezugnahme auf die vorstehende Fig. 18, die das Auftreten einer Insel K im Firnfeld darstellt, werden wir die nun eintretenden Verhältnisse, wie folgt, beschreiben können. Es existiert eine vom Rande der Insel K ausgehende, nach der Firnumrandung (bei D) laufende, bis zum Grund reichende Trennungsfläche von der Beschaffenheit, dass ursprünglich in ihr vereinigte Eistheilchen im Laufe der Bewegung durchaus getrennte Wege gehen. Die Umrandung der Insel K bildet sich in den zwischen den beiden Punkten d liegenden Theil k des Gletscherrandes ab. Ein solcher Gletscher hätte nun keine Mittelmoräne, da der am Rande der Insel produzierte Schutt, den Stromlinien folgend, auf den Grund gezogen würde und am untern Gletscherrande bei k zum Vorschein käme.

Wesentlich anders wird die Sachlage, wenn die Insel ganz in der Abschmelzungsfläche liegt oder doch in dieselbe zum Theil hineinragt. In diesen Theilen der Inselumrandung ziehen die Stromlinien den Schutt nicht auf den Grund hinab, sondern im Gegentheil vom Grund nach dem Rand herauf, hier wird also Grundmoräne ausquellen. Der Schutt kann sich auf der Insel nicht beliebig anhäufen. Seine Abfuhr wird am abschmelzenden Rande mittels seitlicher Obermoränen zunächst in ähnlicher Weise besorgt, wie wir das vorhin am Eiszungenrande kennen lernten. Am untern Ende der Insel, wo die Bewegungslinien von beiden Seiten sich vereinigen, wird der Schutt als Mittelmoräne auf der Oberfläche des Gletschers weiter transportiert bis zu einer gewissen Stelle der unteren Umrandung. Siehe die Fig. 19.

Zwei wichtige Bemerkungen sind über die so entstandenen Mittelmoränen zu machen. Sie enthalten außer dem Randschutt der Insel nothwendigerweise Grundmoräne. Ihr Schuttinhalt ist im Verlaufe der Bewegung stets derselbe, sie bilden für sich einen Schuttstrom, der tief ist, wo er gleichzeitig schmal und langsam fliesst, und seicht wird, wo er sich verbreitert und seine Geschwindigkeit wächst.

Bisher haben wir vorausgesetzt, dass die Schuttproduction ausschliesslich am Rande des Gletschers vor sich gehe. Findet eine solche, wie ganz zweifellos, auch am Grunde statt, so complicieren sich die Verhältnisse insoferne, als der Randschutt, der von den Stromlinien am Grunde transportiert wird, sich mit dem Grundschnitt vermischt und daher die früher gefundene einfache Anordnung des Moränenschuttens am Gletscherrande zum Theil verdeckt wird. Die wichtige Thatsache aber, dass das

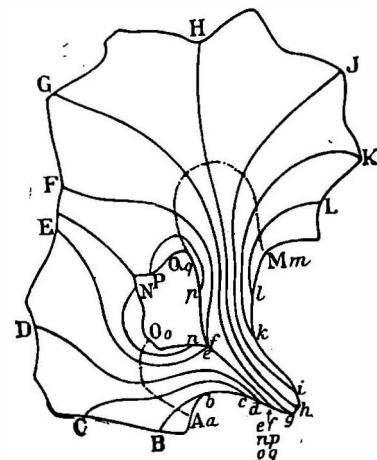


Fig. 19.

gesammte Innere der Eismasse schuttfrei bleibt und nur reine Obermoränen existieren, wird durch diese Complication nicht berührt.

Unstetigkeit
der Gletscher-
bewegung.
Überfliessen und
Umfliessen eines
Hindernisses.
Innenmoräne.

Es ist nun sehr unwahrscheinlich, dass die Bewegung stationärer Gletscher ausschliesslich nach dem bisher festgehaltenen Stetigkeitgesetz erfolgt, wenn schon dasselbe für den grössten Theil des Gletschers maassgebend sein wird, so dass wir die Abweichungen gewissermaassen als Ausnahmen zu betrachten haben, die infolge von Unregelmässigkeiten des Bettes entstehen. Denken wir uns im Bette eines stetig dahinfliessenden Gletschers eine allmähliche Veränderung in der Weise vorgenommen, dass zuerst ein flacher, dann aber immer steiler werdender Rücken am Grunde des Gletschers auftaucht, so wird sich zuerst die Gletscherbewegung der geänderten Form des Bettes accommodieren. Der Gletscher wird sich dem aufgetauchten Rücken gegenüber verhalten, wie den übrigen Theilen des Grundes, er wird ihn einfach überfliessen. Wenn dagegen das auftauchende Hinderniss höher und steilwandiger wird, so tritt der Punkt ein, wo ein solches Überfliessen nicht mehr möglich ist und es tritt an dessen Stelle ein zunächst theilweises Umfliessen des Hindernisses. Um den Unterschied beider Bewegungsarten möglichst scharf zu fassen, denken wir uns

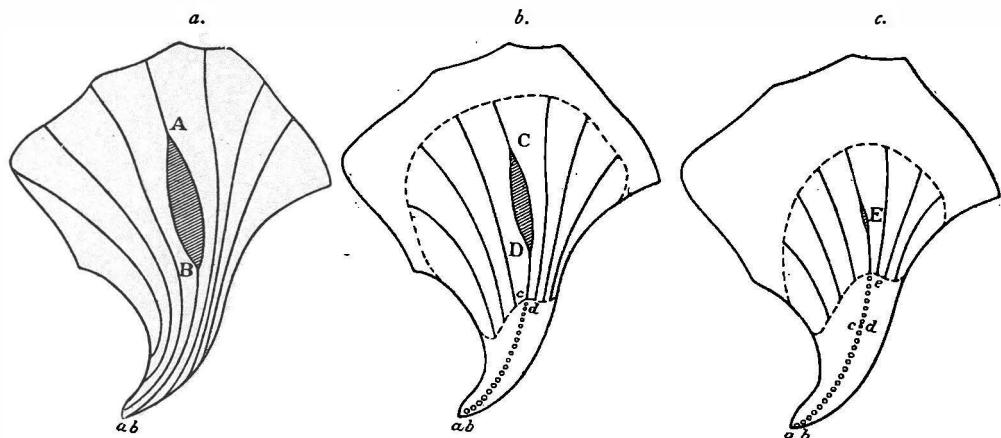


Fig. 20. Das Umfliessen eines subglacialen Hindernisses.

den Gletscher in flachliegende aus Stromlinien gebildete Schichten zerlegt, die wir uns etwa so wählen, dass ihr »Ausgehendes« im Firnfeld und auf der Zunge mit der früher (S. 50) beschriebenen Quertheilung der Längsstreifen zusammenfällt. Beim Umfliessen eines Hindernisses wird eine Stetigkeitsunterbrechung zunächst in der Grundschicht (siehe Fig. 20 a) eintreten, insofern als benachbarte Eistheilchen bei *A* sich trennen und bei *B* sich wieder vereinigen. In höheren Schichten wird ein solches Umfliessen auch noch stattfinden, wenn schon in verminderter Masse (Fig. 20 b) und schliesslich kommt eine Schicht, in welcher keine Stetigkeitsunterbrechung mehr stattfindet (Fig. 20 c). Ebenso wird es mit den darüberliegenden Schichten der Fall sein. Wie macht sich ein solches Umfliessen im Moränentransport geltend? Ist ausschliesslich der Rand des Gletschers schuttführend, so tritt im Moränentransport keinerlei Änderung ein, da die Stromlinien der höheren Schichten zwar am umflossenen Hinderniss mit dem Boden des Gletschers in Berührung kommen, nicht aber mit dem schuttführenden Rande. Ganz anders wird die Sachlage, wenn der Grund des Gletschers selbstständig Schutt führt. Es kommt dann nothwendigerweise Schutt ins Innere des Gletschers, da im Innern des Gletschers verlaufende Stromlinien mit dem Grunde in Berührung gekommen sind. Betrachten wir am umflossenen

Hinderniss die Reihe der Punkte *B D E*, an welchen die Wiedervereinigung der getrennten Stromfäden erfolgt, so sehen wir, dass von ihr eine Fläche von vereinigten Stromlinien ausgeht, die als schüttführende Wand im Innern des Gletschers bis zum Grunde reichend verläuft. Diese schüttführende Trennungswand wollen wir als *Innenmoräne*¹⁾ bezeichnen. Sie wird sich an der Oberfläche des abschmelzenden Gletschers als schüttführende Linie *ab, cd, e* (Fig. 20c), d. h. als Mittelmoräne bemerklich machen. Diese Mittelmoräne hat zwei wichtige Eigenschaften. Sie hat ausschliesslich Grundmoränenmaterial und ihr Schuttinhalt ist nicht auf die Eisoberfläche beschränkt; er geht vielmehr durch bis auf den Grund. Der oberflächliche Schuttinhalt ist daher nicht wie bei den früheren Mittelmoränen im Laufe der Bewegung constant, er nimmt vielmehr in dem Maasse zu, wie die Ablation weiter fortschreitet.

Wenn schon ein am Grunde des Gletschers befindliches Hinderniss, das nicht einmal bis zur Oberfläche reicht, unter Umständen eine Stetigkeitsunterbrechung der Gletscherbewegung herbeiführen muss, so wird dieses in noch höherem Maasse der Fall sein, wenn das Hinderniss die Oberfläche des Gletschers durchbricht, also eine Insel bildet, oder wenn stark einspringende Winkel der Gletscherumrandung,

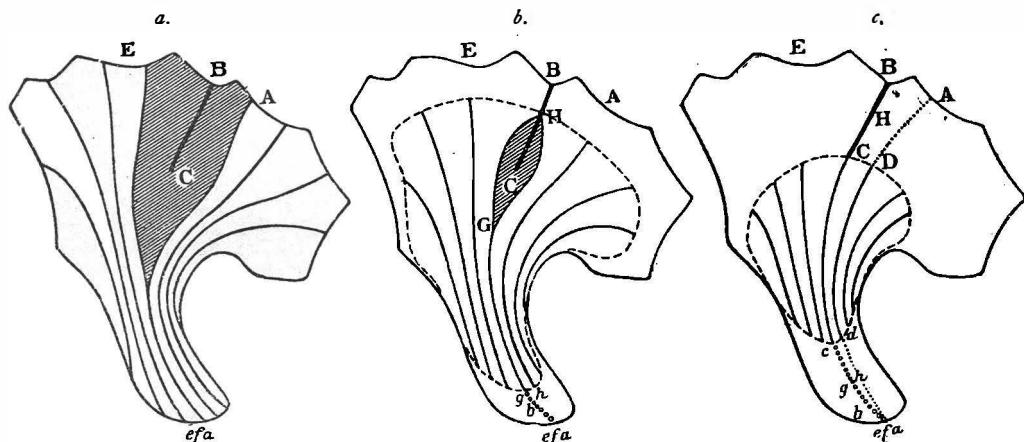


Fig. 21. Das Umfließen eines Felsastes *B C*.

Felsäste und dergleichen vorkommen. Von der untern Seite eines solchen Hindernisses wird stets eine Innenmoräne, nämlich eine schüttführende Fläche von Stromlinien ausgehen, die durch Vereinigung zweier früher getrennt am Grunde verlaufender Stromlinien gebildet sind. Der Schuttinhalt der Innenmoräne besteht nun sowohl aus Rand- wie Grundschnitt, da die zur Vereinigung gelangenden Stromlinien nun auch zum Theil von der Umrandung des Firnfeldes bzw. der Insel ausgehen. Vorstehende Figuren (Fig. 21 a, b, c)²⁾ stellen den Verlauf der Stromlinien in verschiedenen Schichten beim Auftreten eines Felsastes *B C* dar und illustrieren die Art der Moränenbildung. Auf der Mittelmoräne, die von *c* nach *a* reicht, tritt hier Schutt aus, der herrührt erstens von den Punkten des Randes *E B A*, des Felskammes *B C* und von der Grundfläche *E F A B*. Es möge bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen werden, wie eigenthümlich sich hiebei die Abbildung des Firnfeldes auf die Zunge

¹⁾ Der Name Innenmoräne findet sich bei Penck: Morphologie der Erdoberfläche, I. Theil, S. 401. Er stammt aus einer schwedischen Abhandlung von Holst. In derselben wird nach Penck die Entstehung dieser Moränen andeutungsweise in ähnlichem Sinne erklärt wie oben. Sverig. geol. unders. Afhandlgar. Ser. C. No. 81.

²⁾ In Fig. 21a ist am unteren Zipfel der schraffierten Fläche der Buchstabe *F* weggeblieben.

gestaltet. Dem Viereck $ABCD$ (Fig. 21 c) in ersterem entspricht das Dreieck $afbgcd$ in letzterer, wobei aber das Stück $fbgc$ gar kein Analogon im Viereck $ABCD$ hat, vielmehr vom oberen Rand der Vereinigungsfläche FGC herstammt.

Unterscheidung
von reinen
Obermoränen
und dem Aus-
gehenden von
Innenmoränen.

Um den Gegensatz der hier vorgetragenen Anschauung über die Bildung von Mittelmoränen, die von Unregelmässigkeiten des Firnfeldes ausgehen, zu der sonst üblichen zu betonen, sei die letztere, sofern sie sich mit bestimmten Vorstellungen über die Gletscherbewegung vereinigen lässt, noch kurz dargelegt. Man nahm wohl stets an, dass der Gletscher das Hinderniss (Felsast, Insel) umfliesse, dass der am Hinderniss produzierte Schutt auf die umfliessende Eismasse falle und in der betreffenden Horizontalschicht weiterbefördert werde. Da diese Schicht bei ihrer weiteren Abwärtsbewegung wieder von Firn bedeckt wird, so würde ein im Innern der Eismasse verlaufender Schuttstrom entstehen, der aber oben und unten von schuttfreiem Eis umgeben ist. Von der Stelle, wo der Schuttstrom ins Abschmelzungsgebiet ausmündet, ergiesst sich eine Obermoräne, die demnach kein schutterfülltes, sondern reines Eis unter sich hat. Sie müsste also gleich den in Fig. 19 dargestellten Mittelmoränen, wenigstens von der Stelle ab, wo die Ausaperung vollendet ist, gleichbleibenden Schuttinhalt haben und sich also nur auf Kosten der Dicke der Schuttdecke verbreitern können. Nun ist es aber eine hundertfältig zu constatierende Thatsache, dass die Dicke der Schuttdecke nach unten zu mindestens gleich bleibt, wenn nicht grösser wird. Es kann also unmöglich das Auseinanderrutschen der Steine infolge der seitlichen Moränenböschung allein die Schuld an der Verbreiterung der Moränen nach unten sein. Ein klassisches Beispiel für die Verbreiterung der Moränen liefert die Mittelmoräne des Hochjochferners. Sie entspringt in der Höhe von 2790 m, 1250 m vom Strandungspunkte entfernt, und besteht zunächst aus einer Reihe isolierter Blöcke. Ihre Breite wächst in folgender Progression :

Entfernung von der Strandungsstelle	Höhe	Breite der Moräne
1250 m	2790 m	0 m
1000 m	2750 m	7 m
800 m	2720 m	12 m
600 m	2690 m	16 m
400 m	2660 m	20 m
200 m	2620 m	30 m
0 m	2580 m	50 m ¹⁾

Vergeblich würde man auch die Minderung der Geschwindigkeit gegen die Strandungsstelle für die dort statthabende Vermehrung des Schuttinhaltes verantwortlich machen. Spätere Betrachtungen zeigen, dass mit einer solchen Geschwindigkeitsverminderung stets eine Divergenz der Bewegungslinien, also eine Verbreiterung der Moräne Hand in Hand geht, welche eine Auseinanderzerrung des Schuttens nach der Breite bedingen würde, die der Zusammenschiebung nach der Länge infolge der Geschwindigkeitsverminderung annähernd das Gleichgewicht hielte.

In nachstehender Fig. 22 ist an einem Gletscherquerschnitt die Entstehung der Mittelmoräne M aus der Innenmoräne F dargestellt. An der linken Seite des Querschnittes ist ausserdem die Bildung einer randlichen Obermoräne (Seitenmoräne), an der rechten die einer Ufermoräne angedeutet.

¹⁾ Karte des Hochjochferners O.-A. von Dr. Gg. Kerschensteiner, Dr. H. Hess und Fr. Hess. Zeitschrift des A.-V. 1892.

Die bisher betrachteten Unstetigkeiten sind die denkbar einfachsten. Ihr Auftreten ist nur durch Trennung benachbarter und Wiedervereinigung getrennter Theilchen bedingt. Vor der Trennung und nach der Wiedervereinigung setzten wir stets gemeinsame Geschwindigkeit der Theilchen voraus. Damit ist das Auftreten von Verschiebungsklüften, längs welchen endliche Differenzen in Richtung und Grösse der Geschwindigkeit benachbarter Theile vorkommen, ausgeschlossen. Dennoch ist das Auftreten solcher Verschiebungsklüfte im stationären Gletscher vom geometrischen Standpunkt aus wohl vereinbar, wenn schon mechanische Gründe vielfach dagegen sprechen. In Bezug auf den Schutttransport verhalten sie sich ganz analog wie der Grund des Gletschers. Reichen solche Verschiebungsklüfte bis zum Grunde hinab, so ist es bei geeigneter Vertheilung der Geschwindigkeiten wohl möglich, dass längs derselben ein dauernder Schutttransport statthat, der unter Umständen zur Oberfläche führt und dort zu Moränen Veranlassung giebt. Der Fall wird bei sogenannten parasitären Gletschern eintreten.

Moränen
im Gefolge von
Verschiebungsklüften.

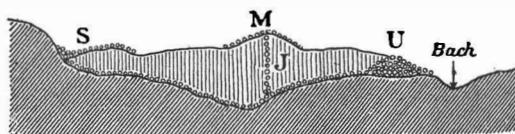


Fig. 22. Die verschiedenen Moränen an einem Gletscherquerschnitt.

S = Seitenmoräne. U = Ufermoräne. M = Mittelmoräne.
J = Innenmoräne.

Wie unwahrscheinlich das Auftreten von Verschiebungsklüften an stationären Gletschern sein mag, an nicht stationären, namentlich vorschreitenden Gletschern sind sie sehr gewöhnlich. Sie scheinen sogar infolge der kleinen jahreszeitlichen Schwankungen aufzutreten. Wenigstens bin ich geneigt, am untern Rande quer über das Eis verlaufende, ins Innere hinein sich erstreckende Streifen von Grundmoränenschutt hierauf zurückzuführen. Nachrückende Eismassen bringen im Frühjahr die noch fest mit dem Boden verbundenen, vielleicht noch angefrorenen Eisparten nicht in Bewegung, es bildet sich eine Verschiebungsfläche, an welcher das tote Eis und das bewegte aneinandergrenzen. Diese führt natürlich Grundmoräne, die sich als dünne Schicht ins Eis einlagert. Später kommt auch das tote Eis in Bewegung und die Ablation fördert die eingelagerte Schicht zu Tage. Sie bildet dann einen quer über die Gletscherfläche verlaufenden Moränenwall, (Fig. 23.)

Über die Moränen eines zwar stetigen aber nicht stationären Gletschers sei noch eine allgemeine Bemerkung hinzugefügt. Sie ändern ihren Habitus solange nicht, als nicht der geänderte Gletscherzustand neue Schuttherde schafft, oder neue Unstetigkeiten sich einstellen, beziehungsweise vorhandene verschwinden. So kann ein seichter Gletscher Hindernisse umfliessen, die der tiefere vielleicht überfliesst; es können schuttführende Inseln auftauchen und verschwinden. Solange aber derartiges nicht eintritt, wird die Moränenbildung und Anordnung mit der eines stationären Gletschers übereinstimmen.

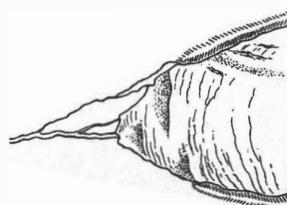


Fig. 23. Moränen an Verschiebungsklüften.

Die Bewegung des Eises in der Gletscherzungue.

Unsere geometrischen Betrachtungen über den stationären Zustand lassen mit Hinzunahme einiger Hypothesen eine sehr ins Einzelne gehende Beschreibung der Eisbewegung in der eigentlichen Gletscherzungue zu. Wir setzen voraus, dass die

Zunge eine starke Längenentwicklung zeige, also die Breiten- und Dickendimensionen klein zur Länge seien, dass ferner ihre Längsachse nur schwach gekrümmmt sei und dass sie keine unvermittelte Gefälls- und Querschnittsänderungen aufweise. Dann sind jedenfalls die Stromlinien unter sich, zur Gletscherachse, zum Gletschergrunde und zur Gletscheroberfläche¹⁾ annähernd parallel. Wir werden diesem Umstand dadurch Rechnung tragen, dass wir die kleinen Neigungswinkel, welche die Stromlinien mit den benachbarten Stellen der Gletscherachse einschliessen, mit ihren Sinus und Tangenten verwechseln und die Cosinus derselben gleich Eins setzen. Unter dieser Annahme können wir von ebenen, zur Gletscherachse senkrechten Querschnitten sprechen. Unter Umständen, wenn die Gletscherneigung gering ist, lassen sich die Querschnitte vertical nehmen, was im Folgenden der Einfachheit halber vorausgesetzt sei. Die aufeinanderfolgenden Querschnitte werden durch Stromlinien Punkt für Punkt aufeinander abgebildet. Die Erfahrung und allgemeine mechanische Überlegungen lehren uns, dass die Geschwindigkeiten in einem Querschnitt so vertheilt sind, dass sie von der Mitte und dem oberen Rand gegen die Seiten und den Grund zu abnehmen. Bei der Abbildung zweier Querschnitte aufeinander entsprechen nothwendig den mittleren Theilen des einen mittlere Theile des anderen und den randlichen Theilen des einen randliche Theile des anderen. Es sei dF_1 ein kleines Stück des ersten Querschnittes mit der Geschwindigkeit v_1 , dF_2 das bei der Abbildung entsprechende Stück des zweiten Querschnittes mit der Geschwindigkeit v_2 . Bei stationärer Strömung ist dann nothwendig $dF_1 \cdot v_1 = dF_2 \cdot v_2$. Die beiden Seiten der Gleichung stellen nämlich unter den früher gemachten Voraussetzungen die durch die Querschnittsstücke in der Zeiteinheit passierenden Eismengen dar. Hieraus folgt $dF_1 : dF_2 = v_2 : v_1$. Da bei unserer Abbildung, wie vorhin bemerkt wurde, starken bzw. geringen Geschwindigkeiten des einen Querschnittes auch starke bzw. geringe Geschwindigkeiten des andern entsprechen, so ist anzunehmen, dass das Verhältniss $v_2 : v_1$ nur innerhalb geringer Grenzen variiert und wir wollen es constant, nämlich gleich dem Verhältniss $V_2 : V_1$ der mittleren Geschwindigkeiten der beiden Querschnitte nehmen. Geometrisch gesprochen kommt dies darauf hinaus, dass die Abbildungen der Querschnitte in einander äquivalent vorausgesetzt werden. Ein formaler Vortheil dieser Annahme besteht darin, dass das System der Stromlinien ganz unabhängig von der Vertheilung der Geschwindigkeiten in einem Querschnitt wird. Die Bedingung der Äquivalenz bestimmt aber die Abbildung der Querschnitte in einander noch nicht, auch wenn wir die Grenzbedingungen mit hereinziehen. Hiezu ist nötig, dass wir zwei einander entsprechende Curvenscharen kennen. Solche ergeben sich aus der bereits früher gemachten Annahme, dass die Stromlinien senkrecht untereinander befindlicher Theilchen sich in dieselben Curven des Grundrisses projizieren sollen. Es gehen dann bei der Abbildung der Querschnitte in einander verticale Linien wieder in verticale Linien über. Durch diese neue Annahme wird, wenigstens bei einem nicht abschmelzenden Gletscher die Form der Stromlinien nicht nur unabhängig von der Vertheilung der Geschwindigkeiten im Querschnitt, sondern sie bestimmt sich auch ausschliesslich durch die Form des Bettes. Ist die Geschwindigkeitsvertheilung in einem Querschnitt bekannt, so ist sie infolge unserer Annahmen in allen übrigen durch die Querschnittsform bedingt.

Unsere Bewegungsform lässt sich der unmittelbaren Anschauung dann leicht nahe bringen, wenn wir die Querschnitte sämmtlich als Rechtecke mit verticalen Wänden voraussetzen und von der Ablation absehen. Die Eismasse erfährt dann

Abbildung
der Gletscher-
querschnitte in-
einander.
Continuitätsgelei-
chung im Innern
des Gletschers.

¹⁾ Von den äussersten Randpartien abgesehen.

beim Übergang von einem Querschnitt zum andern eine Art Auswalzung bzw. Zusammenpressung in verticaler und horizontaler Richtung, deren Wirkung sich über die Dicke bzw. Breite des Querschnittes gleichmässig vertheilt. Bei unregelmässig gestalteten Querschnitten hat man sich beide Querschnitte in die gleiche Zahl unter sich gleich grosser, verticaler Streifen zerlegt zu denken. Dann findet eine solche Auswalzung der den einen Streifen passierenden Eismasse in die Form des andern entsprechenden Streifens im zweiten Querschnitt statt.

Einen nichtabschmelzenden Gletscher einer weiteren Analyse zu unterziehen, wäre mit Rücksicht auf die Anwendung auf reale Verhältnisse ebenso wertlos, wie etwa die Abschmelzung einer Eismasse ohne Bezugnahme auf die Bewegung derselben zu studieren. Beides, Bewegung und Abschmelzung zusammen, machen eben den Gletscher aus und unsere Betrachtungen würden gegenüber anderen,¹⁾ auf rationellere Basis gegründeten keine Beachtung verdienen, wenn sie nicht gestatteten, die Abschmelzung zu berücksichtigen. Dies ist aber in einfacher Weise möglich. Es seien zwei benachbarte Querschnitte gegeben. Man kennt die Vertheilung der Geschwindigkeiten der Oberfläche des oberhalb gelegenen. Dann ist auch die Zeit bekannt, die eine Eispartie braucht, um den Weg zum unterhalb liegenden Querschnitt zurückzulegen. Diese Zeit ist verschieden; für Theile in der Mitte ist sie kleiner, als für solche am Rand. Man kann nun, falls die Ablationszahlen (Beträge der Ablation pro Zeiteinheit) an dem betreffenden Querschnitt bekannt sind, die Eisdicken ausrechnen, die an den verschiedenen Stellen des Randes des oberen Querschnittes durch Ablation verloren gehen, bis das Eis den untern Querschnitt erreicht. Diese Eisdicken zieht man vom obern Rande des ersten Querschnittes ab, der Rest wird dann in den zweiten Querschnitt genau so übergehen, wie bei einem nicht abschmelzenden Gletscher. Die äquivalente Abbildung giebt die Geschwindigkeitsvertheilung im zweiten Querschnitt; die Linien gleicher Geschwindigkeit des ersten Querschnittes gehen in die Linien gleicher Geschwindigkeit des zweiten über, die Geschwindigkeiten selbst verändern sich umgekehrt, wie die abgebildeten Querschnitte.

Auf solche Weise ist man im Stande, nach Zerlegung des Gletschers durch eine grössere Zahl von Querschnitten schrittweise die Bewegung von einem Querschnitt zum andern zu verfolgen. Man braucht dazu außer den Ablationszahlen vor allem die Form der Querschnitte, deren Ausmessung an bestehenden Gletschern grosse Schwierigkeiten im Wege stehen, ferner die Geschwindigkeitsvertheilung in einem Querschnitt, die der directen Ermittelung noch weniger zugänglich ist, als die Querschnittsform. An Stelle der Geschwindigkeitsvertheilung in einem oberen Querschnitt kann aber ebenso gut die Geschwindigkeitsvertheilung an der Oberfläche treten, denn nur diese muss zur Berechnung des Ablationsverlustes beim Übergang eines Querschnittes zum nächsten bekannt sein. Ist sie bekannt, so lassen sich die durch die Ablation verminderten Querschnitte finden, welche in die nach unten benachbarten unverminderten Querschnitte abgebildet werden müssen. Diese successiven Abbildungen ergeben das System der Stromlinien und dieses hinwiederum bezieht die Oberfläche der Gletscherzung auf den obersten Querschnitt und bestimmt dort die Geschwindigkeitsvertheilung. Die Oberfläche eines abschmelzenden Gletschers stellt uns eben gewissermaassen auch einen, zwar nicht senkrecht zu den Stromlinien geführten Querschnitt vor. Der Schluss von den Oberflächengeschwindigkeiten auf die Innengeschwindigkeiten des Gletschers wird naturgemäss umso unsicherer, je geringer die Ablation ist, und er wird gänzlich illusorisch, falls diese verschwindet.

Einfluss der Abschmelzung auf die Bewegung des Gletschers

¹⁾ Z. B. A.-A. Odin: *Essai d'une application des principes de la mécanique à l'écoulement des glacières*. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. XXIV, 1888.

Die Eis-
bewegung in der
alten Zunge des
Suldenfernerns.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Form des stationären Gletschers, seine Bewegung und die Ablation in engem Zusammenhange stehen. Es ist das im Grunde genommen kein anderer, als der in den Gleichungen auf Seite 50 ausgedrückte: $a = v \sin \varphi$. Er ist nur durch die verschiedenen Bedingungen, die wir der Bewegungsform in der Gletscherzunge auferlegten, so specialisiert worden, dass er der Anwendung auf reale Verhältnisse zugänglicher erscheint. Derselbe wird noch deutlicher hervortreten, wenn wir an einem bestimmten Beispiele die angegebenen Constructionen wirklich durchführen. Als Grundlage für ein solches Beispiel sei die nunmehr fast gänzlich verschwundene Zunge des Suldenfernerns aus dem Anfang dieses Jahrhunderts gewählt. Ihre Form ist, soweit der Grund in Frage kommt, durch meine und Dr. H. Schuncks Vermessung des Suldenfernerns vom Jahre 1886 (Zeitschrift des Alpenvereins v. J. 1887) gegeben. Die Oberfläche lässt sich nach den Moränenpuren mit einiger Sicherheit festlegen. Um bestimmte Werthe für die Geschwindigkeiten an der Oberfläche zu bekommen, machte ich die Voraussetzung, dass der Gletscher zur Zeit seines Maximums in seiner ganzen Ausdehnung stationär gewesen sei. Dann ist die mittlere Geschwindigkeit eines jeden Querschnittes bekannt, sobald man die Ablation für die unter ihm liegenden Theile der Zungenoberfläche kennt. Für die letztere habe ich die in unserer Abhandlung v. J. 1887 benutzten Ablationszahlen eingesetzt und sie dort vermehrt, wo nach Lage der Verhältnisse starke Zerkliüftung (an der Legerwand und gegen das Ende zu) zu erwarten ist. Die zu den mittleren Querschnittsgeschwindigkeiten gehörige Vertheilung der Oberflächengeschwindigkeit, also namenlich ihre Abnahme nach dem Rande zu, wurde mit Rücksicht auf die Erfahrung an bestehenden Gletschern versuchsweise angenommen. Hierauf wurde nach dem oben erörterten Verfahren die Construction der entsprechenden Geschwindigkeitsvertheilung durch sieben Querschnitte hindurch bis zum obersten durchgeführt. Die Linien gleicher Geschwindigkeit in diesem Querschnitt zeigten dabei im Einzelnen zwar ein ziemlich unregelmässiges Bild, dem aber im Ganzen eine gewisse Gesetzmässigkeit nicht fehlte. Mit Rücksichtnahme auf die letztere schematisierte ich diese Geschwindigkeitsvertheilung und führte nun die Construction der Oberflächengeschwindigkeit rückwärts durch. Dabei wurden neun Querschnitte benutzt und in allen die Vertheilung der Geschwindigkeiten bestimmt.

Erläuterungen
zu Tafel I.

Das Resultat ist in Tafel I zusammengestellt. Fig. 1 enthält die grundlegenden Daten; die Querschnitte Q in Hectaren, die Ablationszahlen a in Metern pro Jahr, die abschmelzenden Flächen F in Hectaren, die Gesamtablation A zwischen zwei Querschnitten, die jeden Querschnitt im Jahr passierenden Eismengen E in Hunderttausenden Kubikmetern und die mittleren Stromgeschwindigkeiten V in Metern pro Jahr.

Fig. 5 zeigt die Geschwindigkeitsvertheilung in den neun Querschnitten. Die des obersten ist nach dem Ergebniss des Vorversuches angenommen. An jedem Querschnitt ist derjenige Theil durch eine in der Nähe des oberen Randes verlaufende Linie abgegrenzt, welcher bei der Wanderung bis zum nächsten Querschnitt der Ablation anheimfällt, der Rest geht dann in den nächstfolgenden über. Die Figuren 2, 3 und 6 vervollständigen das Bild der Geschwindigkeitsvertheilung durch Darstellung derselben auf der Oberfläche, am Grunde und im mittleren Längsschnitt. Fig. 4 giebt die Horizontalprojection der Stromlinien, oder auch jene der Bewegungslinien, welch' letztere nach unserer Voraussetzung von ersteren nicht verschieden sind. Ihrer Vertheilung liegt die Voraussetzung zu Grunde, dass sie den obersten Querschnitt in gleichen Abständen von 40 m passieren. Fig. 7 zeigt die Stromlinien im mittleren Längsschnitt. Um die Bewegung dieses Idealgletschers auch auf dem

Wege zu verfolgen, der bei den wirklichen Gletschern zu Gebote steht, habe ich auf dem obersten Profil eine Steinlinie mit Nummernsteinen von 40 m Distanz angenommen und ihre Veränderung nach 1, 5, 10, 15 etc. bis 40 Jahren construiert. Siehe Fig. 7, wo die Steine durch kleine Kreise gekennzeichnet sind. Schliesslich ist im Längsschnitt (Fig. 8) noch die Deformation eines verticalen Bohrloches verfolgt.

Zur Ausführung der bei diesen Constructionen nöthigen Abbildungen stehen verschiedene Hilfsmittel zu Gebote. Theoretisch am einfachsten ist folgendes Verfahren: Man zeichnet für jeden der ineinander abzubildenden Querschnitte die Curven, welche die jeweilige Tiefe als Function der Entfernung vom Rande darstellen. Es sind das die Querschnittsformen mit horizontal verlaufendem oberen Rand und denselben Gletscherdicken, wie die im wirklichen Querschnitt. Dann verschafft man sich die Integralcurven der so gezeichneten Curven, d. h. jene Curven, welche ein vertical begrenztes Querschnittsflächenstück als Function der Entfernung des begrenzenden Lothes vom Rande darstellen. Dies geschieht entweder punktweise mittels des Planimeters, oder continuierlich mittels des Integrappens von Abdank-Abakanowitsch. Die Endordinaten der Integralcurven beider Querschnitte theilt man in die gleiche Zahl von Theilen und zieht Parallele zur Abscissenrichtung. Die Abscissen der dadurch bestimmten Curvenpunkte geben dann entsprechende Eintheilungen der Querschnitte in verticale Streifen. Die Quertheilung entsprechender verticaler Streifen erfolgt dann proportional der Länge derselben. Genauer ist jedoch das Verfahren, nach welchem man empirisch durch Probieren mit dem Planimeter jeden der Querschnitte durch verticale Linien erst halbiert, dann viertheilt u. s. w. und die gleichen Theile der Reihe nach sich entsprechen lässt. Auf diese Weise wurde die Fig. 5 der Tafel I im Maassstabe 1 : 2000 hergestellt. Weniger mühsam und von instrumentellen Hilfsmitteln ganz unabhängig ist ein rechnerisches Verfahren, auf das ich erst später gekommen bin, und das ein Analogon zu dem erwähnten graphischen Prozess ist. Man trägt die mittleren Gletscherdicken in Abständen von 20 zu 20 m in eine Tabelle ein und bildet eine neue Tabelle aus den Summen der Zahlen der ersten; diese giebt dann mit 20 multipliziert die Querschnittsflächen (vergl. nebenstehende Tabellen). Sollen nun gewisse Abscissen, z. B. 71 m, 143 m, 225 m vom ersten Querschnitt in den zweiten übertragen werden, so schliesst man folgendermaassen: Den Zahlen 71, 143, 225 der ersten Reihe entsprechen die Querschnittsflächen der dritten Reihe: 84'7, 333'7, 695'7. Aus diesen gehen die Querschnittsflächen der sechsten Reihe: 50'5, 205, 415 durch Multiplication mit 9600 und Division mit 16100 hervor. Diesen hinwiederum entsprechen die Abscissen der vierten Reihe: 62'6, 114'5, 178'8. Es bilden sich demnach Punkte des ersten Querschnittes, welche vom Rande die Entfernung 71, 143, 225 m haben, in solche Punkte des zweiten Querschnittes ab, deren Randentfernung 62'6, 114'5, 178'8 m sind. Die Geschwindigkeiten in beiden Querschnitten verhalten sich wie 9600 im ersten zu 16100 im zweiten Querschnitt. Überträgt man also die Curven gleicher Geschwindigkeit aus dem ersten Querschnitt in den zweiten, so hat man die zugehörigen Zahlen entsprechend zu vergrössern.

Hat man die Geschwindigkeitsvertheilung und die Stromlinien des Gletschers auf diese Weise festgelegt, so ist die Verfolgung der Bewegung einer Steinlinie auf der Gletscherfläche eine im Prinzip zwar einfache, in der Ausführung jedoch äusserst mühsame Arbeit. Ist v die veränderliche Geschwindigkeit der Bewegungslinie

Erster Querschnitt. Zweiter Querschnitt.

I	II	III	IV	V	VI
10	8		10	2	
20		8	20		2
30	20		30	13	
40		28	40		15
50	32		50	30	
60		60	60	45	
70	45		70	42	50'5
80		105	84'7	80	
90	58			90	87
100		163		100	
110	70		110	80	147
120		233		120	227
130	85			130	
140		318		140	307
150	105	333'7		150	
160		423		160	368
170	110		170	50	
180		533	178'8	180	418 415
190	80			190	
200		613		200	456
210	68			210	
220		681		220	478
230	59	695'7		230	
240		740		240	480
250	43				
260		783			
270	22				
280		805			

$$Q = 805 \times 20 = 16100 \text{ qm}$$

$$Q = 480 \times 20 = 9600 \text{ qm}$$

(Horizontalcomponente der Geschwindigkeit der Stromlinie), so bestimmt sich der in der Zeit t_0 von einem Stein zurückgelegte Weg s aus der Gleichung: $\int_0^s \frac{ds}{v} = t_0$. Um sie mechanisch zu lösen, hat man die Curven zu zeichnen, deren Ordinaten die reciproken Werthe der Geschwindigkeiten und deren Abscissen die rectifizierten Bogenlängen der Bewegungslinien sind, und mit dem Planimeter (oder dem Integrigraphen) durch Probieren eine Abscisse s so zu finden, dass der zugehörige Flächeninhalt der Curve gleich der gegebenen Zeit t_0 wird.

Wenn wir das Resultat der Construction, wie es in der Tafel I niedergelegt ist, überblicken, so werden wir finden, dass die Bewegung des Idealgletschers alle charakteristischen Züge derjenigen eines wirklichen Gletschers trägt. Der Hauptgrund zur Erklärung dieser Thatsache liegt darin, dass soviel Beobachtungsmaterial, nämlich die ganze Form des Gletschers in die Construction eingang. Es müssen aber auch die Ablationszahlen und die Art, wie wir den Übergang der Eismasse von einem Querschnitt zum andern voraussetzen, der Wirklichkeit einigermaßen entsprochen haben. Im Einzelnen bemerken wir das bekannte Phänomen der Geschwindigkeitsabnahme von der Wurzel der Zunge gegen das Ende zu. Von den vier Gründen, die Heim¹⁾ in seiner Gletscherkunde zur Erklärung dieser Erscheinung anführt, nämlich »ablation interne«, Ausquetschung der Luftblasen in den blauen Blättern, Zusammendrückbarkeit des Eises, Abnahme des bewegenden Druckes bei Zunahme der hemmenden Reibung braucht nachgerade keiner stichhaltig zu sein. Es genügt vollständig, die oberflächliche Ablation und die dadurch erzeugte Verminderung der strömenden Eismassen in Betracht zu ziehen, um bei den auftretenden Gletscherformen die Erscheinung vorauszusehen.²⁾ Eine einfache Rechnung unter naheliegenden Annahmen lehrt, dass, wenn die Geschwindigkeit eines abschmelzenden Gletschers nach dem Ende zu nicht abnehmen würde, seine Form von der Art wie in Fig. 24 dargestellt sein müsste, also mit Rändern, die gegen die Mitte zu convex gekrümmmt sind.

Im Übrigen bietet die Art der Geschwindigkeitsvertheilung eine Überraschung insoferne, als die grösste Geschwindigkeit nicht mit der stärksten Neigung der Gletscherfläche zusammenfällt. Sie ist vielmehr oberhalb der Legerwand an einer Stelle, wo sich der Querschnitt etwas verengt. Unterhalb derselben findet eine Verbreiterung des Bettes und gleichzeitig eine starke Verminderung der Eismassen durch die Ablation statt, so dass sich die Geschwindigkeit rasch vermindert. Die Geschwindigkeitsverminderung steigert den Effect der Ablation insofern, als nun die Eismassen auf ihrer länger dauernden Fahrt zu den nächsten Querschnitten, die am Fusse der Legerwand noch dazu grösser werden, immer mehr Einbusse erleiden, so dass die Bewegung trotz der durchlaufenen grösseren Neigung am Fusse des Eisbruches an der Legerwand nur mehr ein Dritttheil der ursprünglichen beträgt und dann gegen das Ende zu erst langsamer, dann immer schneller abnimmt.

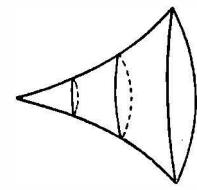


Fig. 24.



Fig. 25.

¹⁾ Gletscherkunde, S. 328.

²⁾ In der auf Seite 60 citirten Arbeit über den Suldenferner vom Jahre 1887 habe ich diese Erklärung für das Phänomen der Geschwindigkeitsabnahme gegen das Ende zu zuerst gegeben. Vor einiger Zeit hat Herr Harry Fielding Reid im American Journal of Geology 1896 Vol. IV Nr. 8 in einem Aufsatz »The Mechanics of Glaciers I.« denselben Gedanken ausgesprochen. In diesem Aufsatz finden sich manche Berührungs punkte mit dem hier Auseinandergesetzten.

Wie vorauszusehen, drängen sich die Stromlinien nach den tieferen Theilen des Bettes zu aneinander und divergieren gegen die seichten Randtheile und gegen das Ende zu. Nur ein geringer Theil erreicht die eigentliche Gletscherstirn, den sogenannten »Abschwung«, den man etwa vom Querschnitt IX ab rechnen kann. Wir finden zwar noch sechs von den 14 Bewegungslinien, aber die Zahl der zugehörigen Stromlinien ist sehr viel kleiner. Man erkennt dies am besten, wenn man im obersten Querschnitt die Curven bestimmt, von deren Punkten die Stromlinien ausgehen, welche am Rande eines der untern Querschnitte austreten. Umstehende Figur 25 zeigt diese Curven für die acht untern Querschnitte. Nur der von der untersten Curve und dem Boden eingeschlossene Theil der strömenden Eismassen gelangt bis zum Gletscherende.

Divergenz der Stromlinien.

Besonderes Interesse wird die Vertheilung der Geschwindigkeiten des Gletschers im Innern erregen. Leider ist gerade dieser Punkt am meisten von den secundären Hypothesen abhängig und daher am wenigsten sicher. Man wird auch nicht erwarten dürfen, dass reine Stetigkeitsbetrachtungen, auch wenn sie auf wirklich beobachtete Gletscherformen angewendet werden, uns über die Vorgänge im Innern des Gletschers endgültig aufklären. Immerhin können sie bei mechanischen Speculationen leitend und einschränkend mitwirken. Bei den Querschnittsfiguren 5 der Tafel I fällt auf, dass die Geschwindigkeitsabnahme gegen den Rand zu sehr viel stärker ist als gegen die Tiefe zu, sowie dass sich diese Eigenthümlichkeit bei der Bewegung durch alle Querschnitte hindurch erhält. Man wäre wohl geneigt, die Curven gleicher Geschwindigkeit mehr parallel dem Grunde verlaufen zu lassen. Versuche in dieser Richtung haben mich gelehrt, dass man auf solcher Grundlage zu einer oberflächlichen Geschwindigkeitsvertheilung gelangt, bei welcher die Abnahme der Geschwindigkeit gegen den Rand um so stärker wird, je kleiner die Bewegung des Profiles überhaupt ist, während doch gerade das Gegentheil den natürlichen Verhältnissen zu entsprechen scheint. Schon bei der in der Fig. 5 dargestellten Geschwindigkeitsvertheilung und noch mehr bei einer, welche stärkere Boden- und Randverzögerung voraussetzt, tritt die Thatsache ins Licht, dass die unteren und seitlichen Partieen der Gletscherzunge von Eismassen unterhalten werden, die aus der Mitte der höher gelegenen Querschnitte hervorgehen, so dass neben der Strömung der Eises in der Längsrichtung der Zunge eine andere, wenn schon viel schwächere einhergeht, die in der Querrichtung erfolgt und deren Intensität gegen das Ende und den Rand hin zunimmt.

Diese Querströmung war vorauszusehen, sobald man die Geschwindigkeitsabnahme gegen den Rand zu annahm. Die dort langsamer bewegten Eismassen mussten bei Zurücklegen des gleichen Weges wie die in der Nähe der Achse befindlichen mehr durch die Ablation leiden und der Ersatz hiefür, der beim stationären Gletscher notwendig ist, konnte nur durch eine solche Querströmung von der Mitte aus beschafft werden.

Die in Fig. 4 dargestellten Bewegungslinien und Steinlinien geben uns auch einen Aufschluss über den Schutttransport auf der Gletscheroberfläche. Falls keine Innenmoräne ihren Schuttinhalt auf die Oberfläche entleert, müsste die zwischen zwei Stromlinien und zwei um fünf Jahre auseinanderliegenden Steinlinien enthaltene Schuttmasse stets unverändert bleiben. Sehen wir von den äussersten Randtheilen ab, so finden wir, dass die zugehörigen Flächen nur mässig, etwa im Verhältniss 5 : 3 oder 2 : 1, abnehmen, dass also nur eine ähnliche Verdichtung der Schuttlage gegen den Rand zu zu erwarten ist. Die randliche Bewegungsverzögerung scheint daher zusammen mit der Divergenz der Bewegungslinien bei weitem nicht auszureichen, um die an den meisten Moränen zu beobachtende, viel stärkere Verbreiterung, verbunden mit erheblicher Zunahme der Schuttdicke zu erklären.

Bewegung
im Innern des
Firnfeldes.

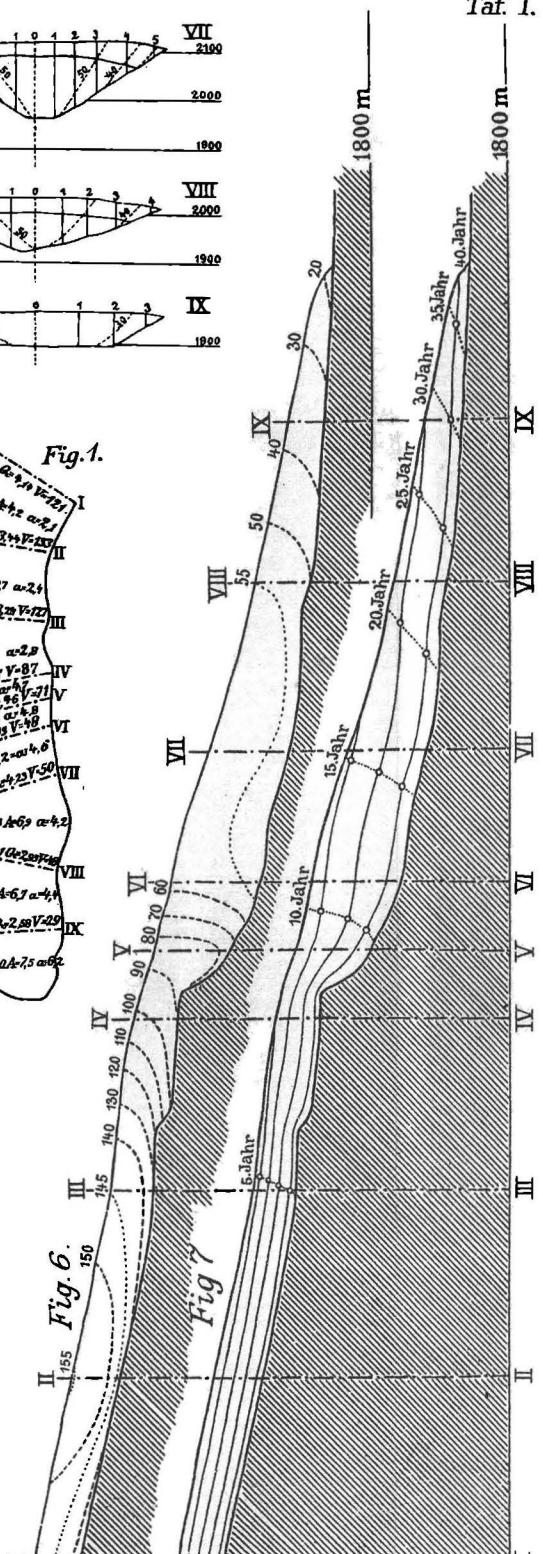
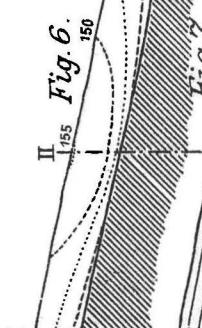
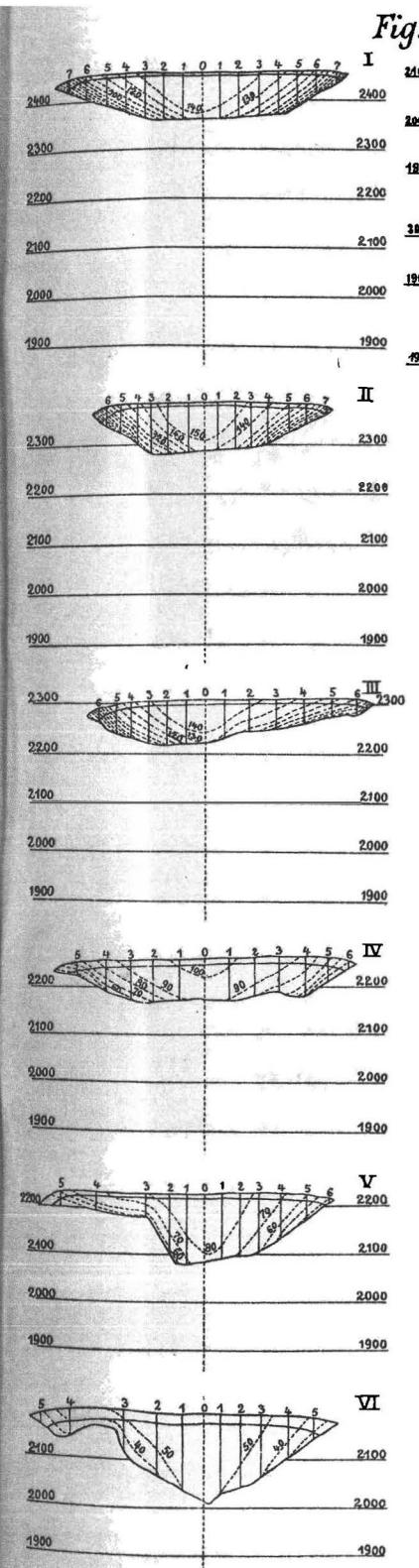
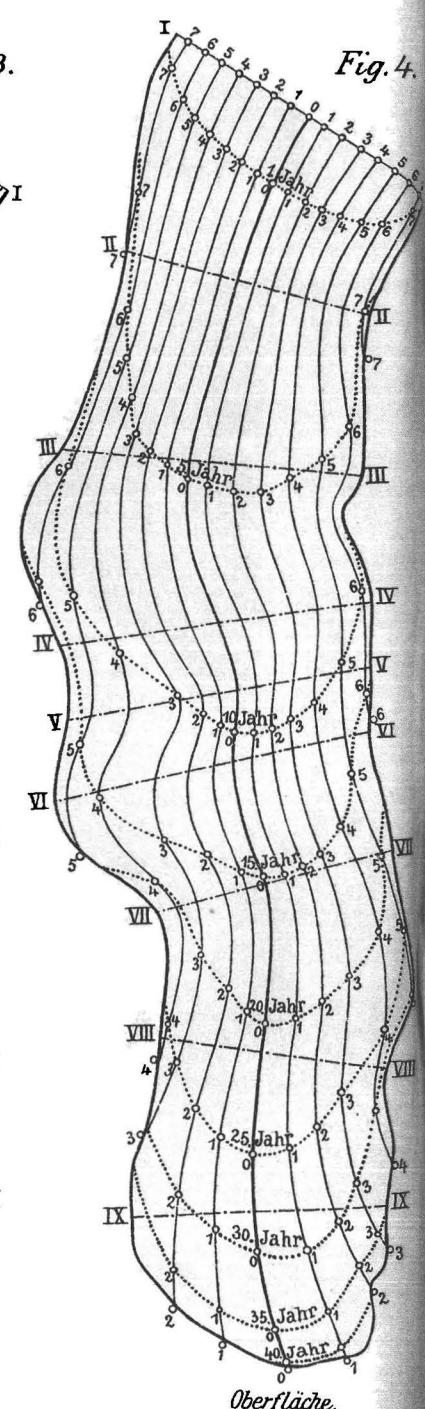
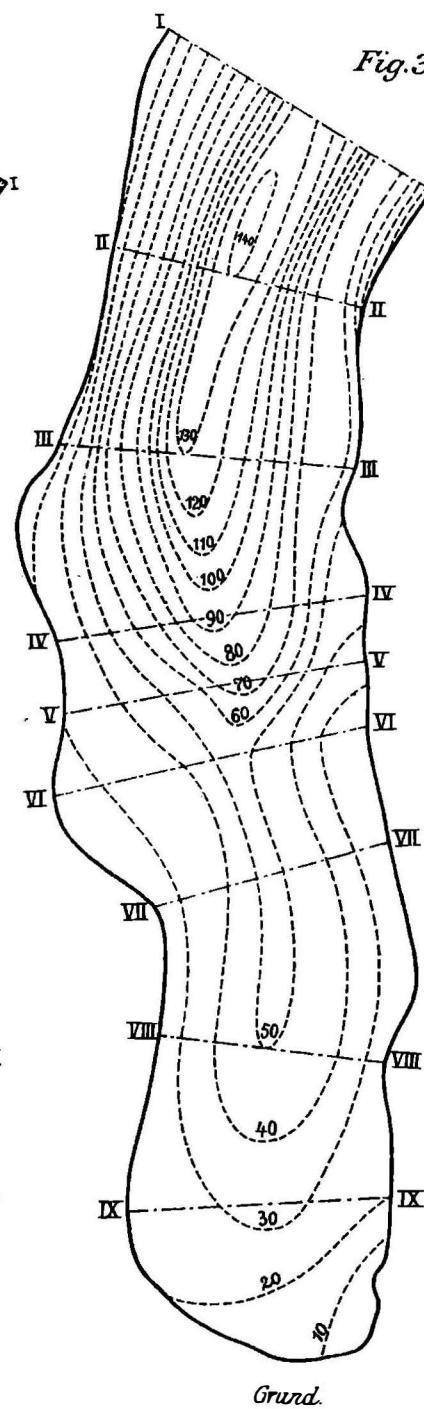
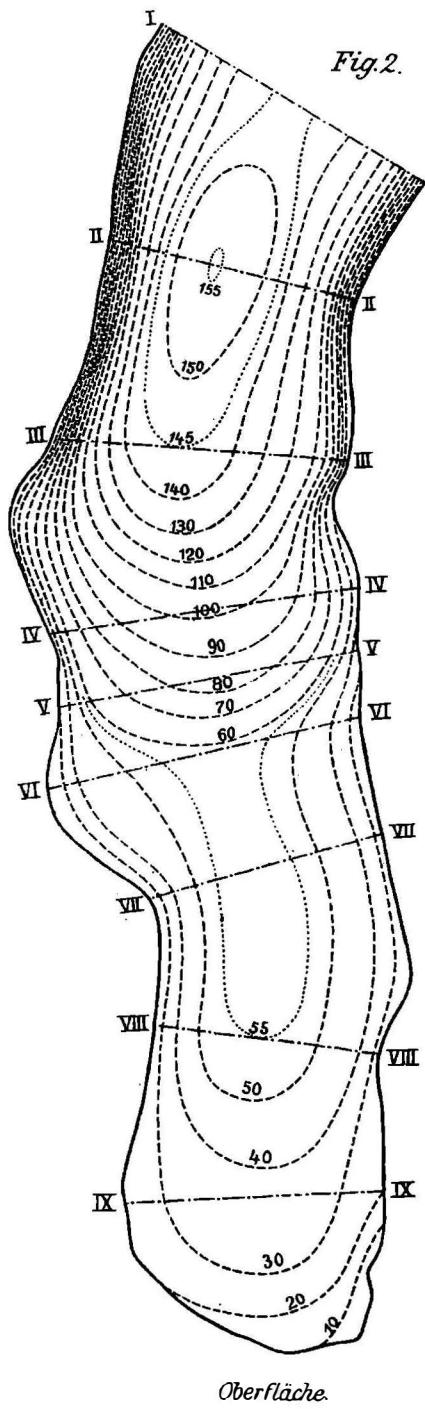
Eine gleich eingehende Detailbeschreibung der Bewegung, wie wir sie für die Gletscherzunge im Vorangegangenen ausgeführt haben, liesse sich für das Firnfeld nur dann ausführen, wenn uns ausser der Kenntniss der Form, also auch der Tiefen des Firnfeldes, noch diejenige der Bewegungslinien zu Gebote stände. Ich zweifle nicht, dass man in absehbarer Zeit zu einer Auslozung der Firnfelder durch systematische Bohrungen schreiten wird, dass man ausserdem die Bewegung in den Firnfeldern einem eingehenden Studium unterziehen wird, aber zunächst sind noch wenig Aussichten hiefür. Immerhin kann man durch blosse Stetigkeitsbetrachtungen, wie wir sie bereits des Öfteren angewendet haben, einen Schluss auf die infolge der Bewegung des Firnfeldes zu erwartenden Veränderungen, speciell der Schichtflächen, ziehen. Denken wir auf unsren stationären Gletscher am Schlusse jedes Jahres eine gefärbte Schicht (Staubschicht) aufgetragen, so wird dieselbe infolge der fortschreitenden Accumulation und Bewegung ins Innere des Gletschers wandern. Der Platz, den sie am Schlusse eines späteren Jahres dort einnimmt, wird im Jahre darauf von der ihr nachfolgenden Schicht occupiert und so ist das ganze Innere des Gletschers mit gefärbten Flächen in regelmässigen Abständen erfüllt, die durch die Bewegung der Reihe nach ineinander übergehen. So entsteht die Schichtung des stationären Gletschers. Wir wollen nun zusehen, was sich auf Grund ähnlicher Annahmen, wie wir sie früher gemacht haben, über die Lage der Schichten aussagen lässt.

Wir isolieren aus dem Gletscher einen beliebig schmalen Theilgletscher, der seitlich von zwei verticalen cylindrischen Flächen begrenzt sein möge. Seine Horizontalprojection sei *AB*. Die Breiten und Dicken dieses Theilgletschers seien bekannt, ebenso der Betrag der Accumulation oder Ablation an den verschiedenen Stellen. Nehmen wir dann noch die Bedingung hinzu, dass die Querschnitte bei der Bewegung äquivalent ineinander abgebildet werden, so ist die Strömung in diesem Theilgletscher vollständig bestimmt. Der Fall liegt ganz ähnlich wie früher bei der Gletscherzunge, die Querschnitte sind hier nur Rechtecke, und die äquivalenten Abbildungen derselben ineinander sind affin. Die Annahme der Äquivalenz der Abbildung hat hier die Bedeutung, dass das Gesetz der Geschwindigkeitsabnahme nach der Tiefe in allen Querschnitten analog ist. Eine solche Bewegung ist in *CD* (Fig. 26) im Aufriss dargestellt. Die strichpunktirte Linie giebt den Auftrag, beziehungsweise die Abschmelzung in fünf Jahren an, die ausgezogenen Linien die Schichtung von fünf zu fünf Jahren, die punktierten Linien die Stromlinien.

Aufrichtung der
Schichtflächen
in den mittleren
Theilen der
Zunge.

Verfolgen wir die gegenseitige Lage beider Liniensysteme. Die Stromlinien fallen gegen die Oberflächenschicht unter bestimmten Winkeln Φ ein, die nach oben zu wegen der stärkeren Accumulation und der geringeren Bewegung immer grösser werden. Diese Winkel erhalten sich wenn auch nicht der Grösse, so doch dem Sinne nach während der Wanderung der Oberflächenschicht durch den Gletscher. Ein solcher Winkel ist also auch beim Austritt der Schicht an der Abschmelzungsfläche vorhanden und er ist grösser für die tieferen, weiter unten austretenden Schichten. Nun treten aber die Stromlinien selbst unter bestimmten Winkeln φ aus der Abschmelzungsfläche heraus, die wiederum für die unteren Theile grösser sind als für die oberen. Diese Winkel φ addieren sich zu den aus der Deformation der Winkel Φ entstandenen, und unter Winkeln, die gleich der Summe beider sind, treten die Schichtflächen aus der Abschmelzungsfläche heraus. Damit erklärt sich zur Genüge die oft beobachtete Thatsache des Aufrichtens der Schichtflächen gegen das Ende zu.¹⁾ Berücksichtigt man nicht nur die Geschwindigkeits-

¹⁾ Die hier gegebene Erklärung deckt sich sehr nahe mit der von Herrn Harry Fielding Reid in dem Seite 62 citirten Aufsatz S. 919.



Geschwindigkeitsverteilung u. Stromlinien eines stationären Gletschers M. 1:15000.

In Fig. 1 ist die Einheit von $E u. A$ 100 000 cbm, von $Q u. F$ 10 000 gm, vor $a u. V$ 1m.

Finsterwalder del.

minderung vom Firn gegen das Ende zu, sondern auch jene von der Mitte gegen den Rand zu, so erklärt sich auch die Form der »Ogiven« an den verschiedenen Stellen der Gletscherzunge.

Die Staubfärbung der Gletscherfläche, die zur Unterscheidung der Schichten Anlass giebt, ist offenbar nicht gleichheitlich über das Firnfeld vertheilt. Wenn auch ein Theil des Staubes durch Luftströmungen aus weiter Ferne hergeführt wird, so wird seine Vertheilung über das Firnfeld doch nicht gleichförmig sein, er wird sich vielmehr in den Winkeln unter den Kämmen anhäufen. Dort trifft er mit jenem zusammen, der durch Abwitterung¹⁾ von den Wänden selbst herrührt, und so werden vor allem die randlichen Partien des Firnfeldes mit Staub bedacht sein. Dieser Staub kommt bei der Abschmelzung nun wieder an den randlichen und unteren Theilen der Zunge zum Vorschein, daher ist dort die Schichtung am deutlichsten.

Verwitterungsstaub auf Firn und Gletscher.

Felsäste, welche weit in das Firnfeld

hereinragen, werden, theils als Staubfänger, theils als Staubproducenten, grössere central gelegene Partien desselben mit Staub versorgen. Dieser Staub kommt dann oberhalb der von den Felsästen ausgehenden Moränen zur Abschmelzung und bildet jéne charakteristische, bis gegen die Firnlinie reichende

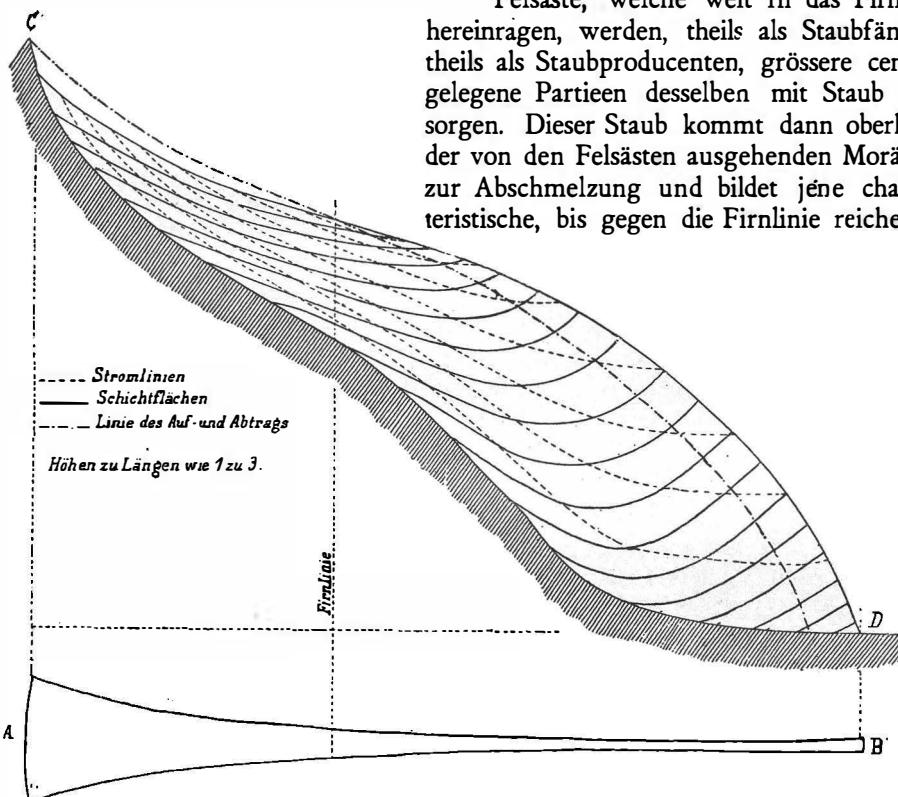


Fig. 26. Die Lage der Schichten im Innern des Gletschers und ihre Abhängigkeit von den Stromlinien.

Schmutzfortsetzung der Moränen, die man nur wegen der unscharfen Grenzen schwer in der Nähe, umso sicherer dagegen aus grösserer Entfernung beobachtet.

Es soll zum Schlusse noch die Frage gestreift werden, ob sich unsere Betrachtungen auch auf nichtstationäre Gletscher ausdehnen lassen. Es ist dies nur in

Bewegungsform
nichtstationärer
Gletscher.

¹⁾ Es ist das eine von Seiten der Geographen noch viel zu wenig gewürdigte Quelle des Staubes, auf welche zuerst A. Blümcke aufmerksam gemacht hat und die er zu einer Messung der Frostbeständigkeit der Baumaterialien verwertete (Centralblatt der Bauverwaltung 1885). So oft Frost eintritt, findet ein der benetzten Oberfläche proportionales Abwittern mikroskopischen Staubes statt. So liefert eine Granitwand von 1 ha bei 300 maligem Frieren im Jahre 5100 kg Staub, womit man 5 ha schwarz färben kann.

beschränktem Maasse möglich, jedenfalls nur solange es sich um angenähert stationäre Zustände handelt. Die einfachste Hypothese, die man in dieser Richtung wohl machen kann, ist die der Permanenz der Stromlinien bei der geänderten Bewegung. Sie rechtfertigt sich schon durch den Umstand, dass die Gletscher jahreszeitliche Schwankungen in der Grösse der Geschwindigkeit durchmachen, mit welchen vermutlich keinerlei Deformationen der Stromlinien parallel gehen. Lässt man diese Hypothese zu, so kann man z. B. mit Aufwand von einiger Geduld ohne Schwierigkeit die Rückzugsstadien verfolgen, die ein Gletscher durchläuft, wenn bei gleichbleibendem Nachschub die Ablation sich steigert, oder bei gleichbleibender Ablation der Nachschub geringer wird. Dagegen gelingt es auf diesem Wege nicht, die Vorrückung eines Gletschers über den grössten bekannten Stand hinaus zu bestimmen. Die Veränderungen des Gletschers, die auf Grund dieser Hypothese gefunden werden, zeigen die Eigenthümlichkeit, dass sie über die ganze Zunge hinweg in gleichem Sinne erfolgen. Es hebt oder senkt sich dabei die Oberfläche überall proportional den Ablationszahlen. Eine wellenförmige Bewegung der Oberfläche, welche beim Eintritt eines Vorstosses von der Firmlinie gegen das Ende zu verlaufen würde, lässt sich mit dieser Hypothese nicht vereinigen.¹⁾ Beim andauernden Gletscherschwinden aber mag dieselbe zutreffen. Aus ihr würde folgen, dass sich die Höhen der Ufermoränen über der Eisfläche langsam und continuierlich schwindender Gletscher an den verschiedenen Stellen wie die durchschnittlichen Ablationszahlen verhalten. Freilich dürfen sich beim Schwinden keine toten Eispartieen absondern, was an den Enden rascher zurückgehender Gletscher häufig vorkommt. Für den uns hier zunächst interessierenden Fall des Vernagtferners sind derlei Speculationen schon darum gegenstandslos, weil wir es bei seinen Bewegungen mit tumultuarischen Vorgängen zu thun haben, auf welche sie ohnehin keine Anwendung finden können.

Wichtig ist es hingegen gerade in diesem Falle, das Reguläre von dem Aussergewöhnlichen scheiden zu können, und dazu bieten unsere Stetigkeitsbetrachtungen am stationären Gletscher vielfachen Anhalt.

Der Vernagtferner im Jahre 1889.

Die dem Buche beigegebene Karte enthebt mich einer eingehenden Beschreibung des Gletschers; es kann sich also hier nur um Hinweise auf dieselbe und um statistische Angaben handeln. Der auf der Karte dargestellte Fernercomplex umfasst vier Individuen. Dieselben sind: 1. der Hochvernagtferner mit einer Fläche von 1190 ha, 2. der Guslarferner mit 414 ha, zwischen beiden liegt die Insel des Hintergrasl mit 103 ha, wovon allerdings nur 25 ha dürftig begrünt sind, 3. der Kleinvernagtferner an der linken Seite des erstgenannten mit 31 ha, 4. der Kleinguslarferner mit 39 ha. Die beiden letzteren habe ich abgetrennt, da sie selbstständige Abflussverhältnisse und daher auch eigenen Gletscherbach besitzen. Die Abgrenzung des Kleinguslarfners ist durch den Felsast der Hinterguslarspitze und die von ihm auslaufende Moräne unzweifelhaft gegeben. Weniger sicher ist die Abgrenzung des Kleinvernagtferners. Zweifellos missbräuchlich vom Standpunkt der Gletscherforschung aus ist die Einbeziehung des vom Felsast der Petersenspitze bis zum Platteikogl reichenden Firngebietes unter diese Bezeichnung, wie sie die Militär-

Areal und Grenzen des Vernagtferners und seine Theile.

¹⁾ Einen Ansatz, der diesem Phänomen gerecht wird, finde ich während des Druckes dieser Arbeit in: »Le variazioni periodiche dei ghiacciai« von L. De Marchi; Rendiconti del R. Ist. Lomb., ser. II, vol. XXVIII 1895, S. 1018. Der genannte Autor geht dabei von der Annahme aus, dass an jedem Querschnitt der Zunge Vermehrung der durchpassierenden Eismasse und Schwellung gleichzeitig erfolgen.

aufnahmen — vielleicht im Anschluss an den ortsüblichen Gebrauch — durchführen, da der grösste Theil des sobenannten Firngebietes dem Hochvernagtferner durchaus tributär ist.¹⁾ Man kann höchstens verschiedener Meinung sein, wie man

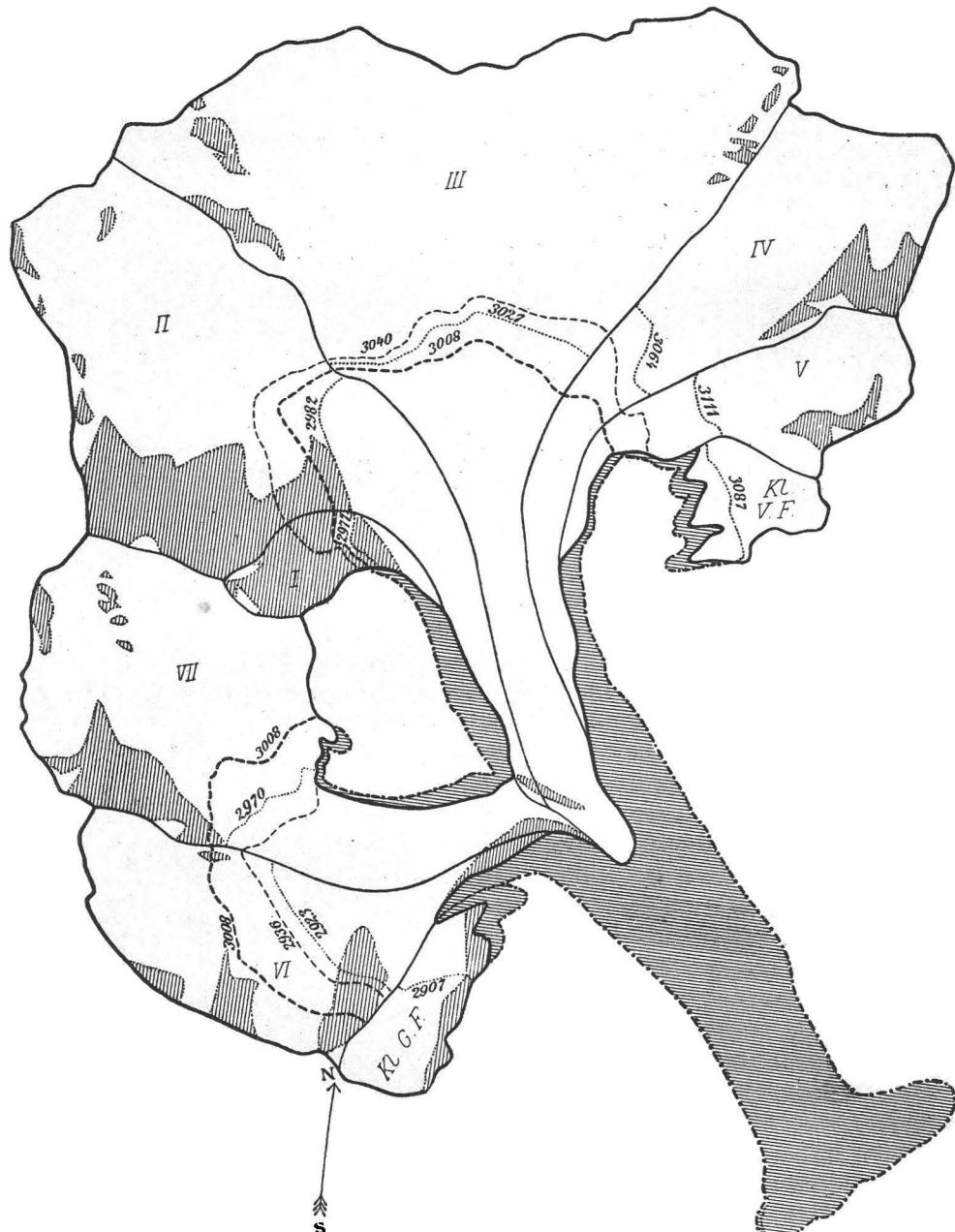


Fig. 27. Eintheilung des Vernagtferners, Beschattung desselben zur Winterszeit, Verlust an Oberfläche seit dem letzten Vorstoss.

Die Beschattung ist durch eine von S. nach N. der Flächenverlust durch eine von O. nach W. verlaufende Schraffierung gekennzeichnet.

¹⁾ Nach den Militäraufnahmen und der darauf basierenden Karte von Simon wäre das nicht oder wenigstens nicht zweifellos der Fall.

die Grenze zwischen den Punkten 3412 m am Brochkoglkamm, 3149 m auf einer Felsinsel und 3061.8 m nahe an der Moräne ziehen soll. Ich habe mich für möglichste Beschränkung des Kleinvernagtferners entschieden (Vergl. Fig. 27). Bei der Flächenbestimmung bin ich von dem von E. Richter¹⁾ mit Recht adoptierten Princip ausgegangen, Felswände, die gegen die Firnfläche einfallen, dann in den Flächeninhalt des Gletschers einzubeziehen, wenn sie zweifellos über der Firngrenze — in unserm Falle über 3000 m — gelegen sind. Die Eintheilung des Firngebietes in Nischen, die durch Felsäste von einander getrennt sind, und die von letzteren auslaufenden Moränen ermöglichen eine weitere Untertheilung der beiden grossen Ferner. (Siehe Fig. 27.) Demnach unterscheide ich am Hochvernagtferner: I. den Hintergraslzufluss, 34 ha ; der aus einem nach Norden geöffneten typischen Kar zwischen Dachfirst und Hintergraspitze entspringt; II. den Schwarzwandzufluss, 312 ha , der vom Dachfirst bis zu einem von der Hochvernagtspitze auslaufenden, bei 3154 m im Firn untertauchenden Felsast reicht (seine weitere Begrenzung wird durch eine Mittelmoräne, deren Spuren bei 2986 m beginnen, gegeben); III. den Mittelferner, 567 ha , bis zu einem von der Petersenspitze auslaufenden Felsast reichend, dessen Moränenspuren in der Höhe von 2810 m am Fusse eines grossen Eisbruches erscheinen; IV. den Zufluss vom Hinteren Brochkogl, 186 ha , welcher das Kar zwischen dem letztgenannten Felsast und einem weiteren, vom Vordern Brochkogl auslaufenden erfüllt; V. den Zufluss vom Vordern Brochkogl, 91 ha , der aus einer Nische am Westfusse des genannten Gipfels entspringt und an der linken Flanke des Schwarzkögeles endigt. Der Guslarferner lässt sich in zwei Zuflüsse scheiden, die durch den Felsast von der Kesselwandspitze getrennt sind. Der linke VI., vom Fluchtkogl herabreichende, misst 256 ha und der rechte VII., an den Kesselwänden entspringende, 158 ha .

Mittlere Höhenlage und mittlerer Böschungswinkel.

In ihren orometrischen Werthen sind die beiden Componenten des Vernagtferners überaus ähnlich. Die mittlere Höhenlage des Hochvernagtferners ist 3113 m , die des Guslarfners 3112 m .²⁾ Der mittlere Böschungswinkel der Oberfläche beträgt am Hochvernagtferner $17^{\circ} 45'$, am Guslarfner $20^{\circ} 2'$. Auch die Abhängigkeit der mittleren Böschung von der Höhe ist bei beiden durchaus conform. Um diese Abhängigkeit übersichtlich darstellen zu können, habe ich vor mehreren Jahren die Construction einer gewissen Curve vorgeschlagen, welche A. Penck³⁾ unter dem Namen »hypsoklinographische Curve« in die Orometrie eingeführt hat. Sie beruht auf der Definition der mittleren Böschung als Quotient aus den Arealen der verticalen und horizontalen Flächen der Stufen eines Treppenmodelles der zu untersuchenden Oberfläche.⁴⁾ Die Abscisse eines Punktes der hypsoklinographischen Curve, der eine gewisse Höhenzahl trägt, ist die Summe der Areale der unter jener Höhe liegenden horizontalen Flächen der Stufen des Treppenmodelles, die Ordinate die analog gebildete Summe der verticalen Flächen derselben Stufen. In Figur 28 sind diese Curven für den Hochvernagtferner und den Guslarfner einzeln construiert. Ihre Gleichförmigkeit ist überraschend. Bei der Curve des Hochvernagtferners tritt in den obersten Punkten eine Unregelmässigkeit auf, die durch das Plateau der Hochvernagtspitze bedingt ist. Aus der hypsoklinographischen Curve kann man sehr leicht die mittlere Böschung eines zwischen zwei beliebigen

¹⁾ Die Gletscher der Ostalpen, S. 42.

²⁾ Diese mittlere Höhe hat A. Kurovski als Schneegrenze angesprochen. Vergl. Die Höhe der Schneegrenze etc. Penck's geogr. Abhandl. Bd. V, Heft 1, 1891.

³⁾ A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894, S. 51.

⁴⁾ Finsterwalder: Über den mittleren Böschungswinkel und das wahre Areal einer topographischen Fläche. Sitzungsber. d. K. bayer. Akad. d. Wissensch. XX. 1890.

Höhen gelegenen Stückes der Oberfläche entnehmen. Man verbindet nämlich die den beiden Höhen zugehörigen Punkte, dann giebt die Neigung der Verbindungsline die gesuchte mittlere Böschung. Auf diese Weise ermittelt man, dass am Hochvernagtferner das untere Viertel der Fläche (Abschmelzungsgebiet) den mittleren Böschungswinkel von $13^{\circ} 37'$, die oberen drei Viertel (Firngebiet) von $19^{\circ} 4'$ aufweisen. Am Guslarferner sind die entsprechenden Zahlen $16^{\circ} 22'$ und $20^{\circ} 36'$. Man ist sonst gewohnt, von flachen Firngebieten und stärker geneigten Schmelzgebieten zu reden, vergisst aber dabei zu dem wirklich flachen Boden der Firnmulde die steile Umrahmung hinzuzunehmen. Dass in der hypsoklinographischen Curve der Bau des Firngeländes mit seinem flachen Boden und steilen Wänden nicht mehr zum Ausdruck kommt, liegt darin, dass innerhalb derselben Höhenstufe stets flache Bodenstücke und steile Wandflächen zusammen vorkommen und ins Mittel eingehen.

Ein für die Beurtheilung der klimatischen Bedingungen des Gletschers wichtiges Moment ist die Höhe, in welcher die Gletscherfläche im Verhältniss 1:3 getheilt wird. Es giebt uns diese Höhe einen vergleichsweisen Anhalt zur Bestimmung der Firnlinie, der Grenze zwischen Schmelzgebiet und Ernährungsgebiet des Gletschers. Für beide Gletscher zusammengenommen ermittelte ich diese Höhe zu 3008 m, für den Hochvernagtferner zu 3040 m, für den Guslarferner zu 2936 m. Der Verlauf der zugehörigen Höhenlinien ist in dem Kärtchen Fig. 27 angegeben. Soweit meine recht unsichere Erfahrung über diesen Punkt reicht, stimmen die gerechneten Höhen ziemlich mit

Height of the Theilungslinie in the ratio 1:3 to the various tributaries of the glacier.

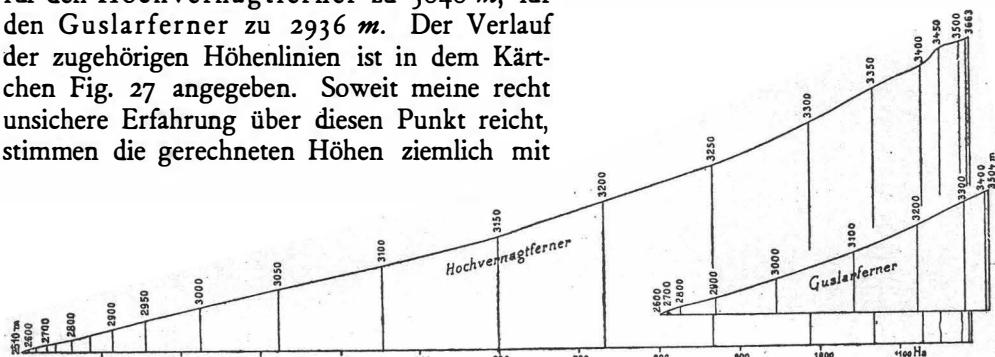


Fig. 28. Hypsoklinographische Curven des Hochvernagt- und Guslarferner.

der äusseren Erscheinung der Firnlinie als höchster Grenze zwischen »aperem« Gletscher und Firnschnee im Sommer 1889. Zur Beurtheilung der Zahlen ist zu bemerken, dass nach E. Richter im Mittel der Ötzthaler Gletscher diese Theilungslinie 2808 m hoch, also gerade um 200 m niedriger liegt.¹⁾ Wollte man innerhalb eines so gleichartigen Gebietes wie die centralen Ötzthaler Alpen nicht jedem Gletscher eine eigene Höhe der Firnlinie zubilligen, so müsste man annehmen, dass das Firngelände des heutigen Vernagtferners im Verhältniss zur Entwicklung der Zungen viel zu gross ist.

Die Untertheilung des Ferners, die wir früher vorgenommen haben, ermöglicht uns, die Höhe der Theilungslinie im Verhältniss 3:1 nun auch im Einzelnen zu verfolgen. Dabei ergeben sich folgende Zahlen: Kleinguslarferner: 2907 m; Kesselwandzufluss VII: 2923 m; Fluchtkoglzufluss VI: 2970 m; Hintergraslzufluss I: 2977 m; Schwarzwandzufluss II: 2982 m; Mittelferner III: 3027 m; Hinterer Brochkoglzufluss IV: 3064 m; Vorderer Brochkoglzufluss V: 3111 m; Kleinvernagtferner: 3087 m. Aus diesen Zahlen geht hervor,

¹⁾ E. Richter, die Gletscher der Ostalpen. S. 174. Infolge der Ungenauigkeit des benützten Kartenmaterials findet Richter die Theilungslinie des gesamten Vernagtferners bei 3084 m, daher den Unterschied 276 m.

Beschattung der Ferner.

dass von Westen nach Osten entweder die Firnlinie ansteigt, und zwar um etwa 200 m , oder dass das Missverhältniss zwischen Zunge und Firngebiet immer stärker wird. Es sind die westlichen Zuflüsse in Bezug auf Ernährung vermutlich besser gestellt, als die östlichen, welche ausserdem stärkere Ablation zu besitzen scheinen. Die Betrachtung der Beschattung des Gletschers klärt uns über diese Verhältnisse einigermaassen auf. Im Hochsommer um die Mittagszeit, ja während eines sehr grossen Theils des Tages ist der ganze Gletscher einfach schattenlos, was wir bei der Vermessung schwer empfunden haben. Aber selbst im Winter, wo sich zur Zeit des Solstiums die Sonne nur mehr $23^{\circ} 5^{\circ}$ über den Horizont erhebt, ist die Beschattung äusserst gering. Ich habe ihre Grenzen für den Mittag des Wintersolstiums bestimmt. In Fig. 27 sind die beschatteten Stellen durch Schraffierung kenntlich gemacht. Sie betragen nur 11 Prozent der Gesammtfläche (10.5 Prozent am Hochvernagtferner, 12.5 Prozent am Guslarferner, 15 Prozent am Kleinguslarferner, 0 Prozent am Kleinvernagtferner) und kommen hauptsächlich auf die Zuflüsse VII, VI, I und II, während III, IV, V und der Kleinvernagtferner der Mittags- und Nachmittagssonne schutzlos preisgegeben sind. Hiedurch wird die Ablation stark erhöht; die Ernährung in den höher gelegenen Theilen aber leidet weniger darunter, weil das tagsüber gebildete Schmelzwasser grossentheils nicht zum Ablauf kommt, sondern des Nachts beim Gefrieren zur Firnbildung beiträgt.

Der Vernagtferner in landschaftlicher Beziehung.

Der landschaftliche Eindruck der Firnmulde des Vernagtferners ist trotz der Formenarmuth der weiten, fast eben erscheinenden Schneefläche ein erhabener. Die schwachen Wellen des blendend weissen, spaltenarmen Firnmantels erzeugen die Täuschung einer endlos sich erstreckenden Wüste, die Umrahmung rückt in unbestimmte Fernen und wächst dadurch weit über das ihrer geringen relativen Höhe zukommende Maass hinaus. Zudem ist dieselbe, wenn schon von einerlei Charakter, doch im Einzelnen mannigfaltig gebaut. Die graziöse Gestalt des Hinteren Broch kogls, die felsumgürtete Schneebastion der Hochvernagtspitze, der Kameelrücken des Fluchtkogls und der zackige Felsklotz der Hintergraslpitzen sind Individualitäten, die auch abgesondert von der mehr zahl- als formenreichen Schar der Ötzthaler Schneehauben, Firnrücken und Sägegräte ihre Bedeutung bewahren. Man vergleiche das Panorama vom Dachfirst, 3312.1 m (Tafel II), einem von uns so benannten Gipfel auf dem Hintergraslkamm, welcher einen Überblick über den grössten Theil der Firnmulden des Hochvernagt- und Guslarfernerns und ihrer Umrahmung gewährt. Landschaftlich uninteressant sind dagegen die beiden Fernerzungen, die in mässiger Neigung ohne nennenswerthen Spaltenwurf herabziehen und sich unterhalb des Hintergrasls zu einem zugespitzten schuttbeladenen Eiskörper vereinigen, aus dem der starke Gletscherbach aus niederem Thor austritt.

Spalten des Vernagtferners.

Die Spaltenverhältnisse der beiden Gletscher sind aus der Karte zu entnehmen. Der Guslarferner ist im Ganzen spaltenreicher als der Hochvernagtferner. Die Randkluft ist in der bekannten Weise überall sehr regelmässig entwickelt. Grosse, halbgeschlossene Firnklüfte mit der charakteristischen Erweiterung nach unten und einzelnen lückenartigen Öffnungen an der Decke sind in der Umgebung der Kesselwandspitze bei der Felsklippe 3188 m , im mittleren Theil des Hochvernagtfernerns und an den Zuflüssen von den beiden Broch kögln zu finden. Einem eigentlichen Eisbruch begegnen wir am untern Ende der Hochvernagtmulde in der Nähe des Schwarzen Kögeles. Derselbe hat eine Länge von 500 m und eine Sturzhöhe von etwa 80 m bei einer Neigung von 70° . Seine Richtung geht parallel der Thalrichtung; er befördert das Eis vom Taschachhochjoch und Vernagtjoch zur Fernerzunge. Eine subglaciale Felsterrasse, die von der Hochvernagtspitze gegen das Schwarzkögle zieht, mag die Ursache davon sein.

Noch muss ich einiger merkwürdiger Oberflächenformen des Firnes gedenken, die dem Auge kaum auffallen und sich erst beim Construieren der Isohypsen ergeben. Sie sind meines Wissens bisher noch nicht beschrieben worden. Es sind kleine Gebiete, meist unter einem Hektar, mit auffallend geringer, häufig auf Null herabgehender Böschung, die auf drei Seiten von stärker geneigten, gegen das Gebiet zu einfallenden Flächen begrenzt sind, während auf der vierten Seite das Terrain von dem Gebiet aus abfällt. Es entsteht so eine Form, die an die lehnsesselartigen Kare erinnert, nur sind die Böschungen alle weit flacher. Wenn sie am untern Ende eines Felsastes auftreten, ist ihre Entstehung aus dem Zusammenfluss der dort sich vereinigenden Firnströme zu begreifen; sie finden sich aber auch in der Mitte der Mulden, so unterhalb des Taschachhochjochs, des Sextenjochs, in der Nähe des Schwarzkögeles u. s. f. Ja vielleicht kann man die grosse, einen halben Quadratkilometer umfassende, schüsselförmige Einsenkung nördlich des Hintergraslkammes, welche die gewundene Fortsetzung der Thalrinne des Gletscherbettes zu sein scheint, in die gleiche Kategorie zählen. Dass diese letztere einem muldenförmigen, erweiterten oberen Abschluss der Thalfurche entspricht, kann kaum be zweifelt werden, aber darf man annehmen, dass auch den erstgenannten Bildungen karförmige Einsenkungen des Gletschergrundes entsprechen? Die Bildung einer flachen Mulde von der Ausdehnung derjenigen des Hochvernagtferners bleibt an und für sich ein Räthsel, so lange man sich zur Erklärung an die Analogieen hält, die uns das unverfirnte Gebirge, wo die Wassererosion herrscht, bietet. Wie man sich auch die Tiefen des einhüllenden Firmantels vorstellen mag, man kommt zu keiner Bodenform, die mit der Einförmigkeit des Gebirgsbaues, mit der Gleichmässigkeit und Wasserundurchlässigkeit des aufbauenden Gesteins und den Wirkungen der Wassererosion verträglich wäre. Eine vermutlich nie entschwundene Firnbedeckung hat hier ihre eigenen Formen geschaffen.

An der unteren Grenze des Firngebietes des Guslarferners treten eigenthümliche kesselartige Oberflächenformen auf, deren Entstehung jüngst von R. Sieger¹⁾ eingehend studiert wurde, ohne dass ein abschliessendes Resultat hiebei erzielt worden wäre. Dies ist in der Natur der Sache begründet, da man vor allem wissen muss, ob diese Gebilde dauernde, an derselben Stelle bleibende oder mit der Gletscherbewegung wandernde oder überhaupt vorübergehende Erscheinungen sind, was sich alles erst im Laufe der Zeit feststellen lässt. Die drei unteren Kessel sind sicher insofern keine Firnkessel, als sie in das feste Eis hinabreichen; bei den oberen, die im Firnfeld des Kleinguslarferners liegen, ist dies nicht zu erweisen, wenn schon ich es für wahrscheinlich halte. Die vier unteren Kessel sind durch oberflächliche und durch subglaciale Wasserläufe mit einander verbunden, die abwechselnd in Action treten. Verstopfungen der Kanäle rufen Anstauungen und Miniaturausbrüche hervor, auf welche ich schon vor Langem aufmerksam machte.²⁾ Ein Wasserlauf in der Nähe der rechten Ufermoräne scheint durch diese Ausbrüche ausgetieft zu sein. Sein gewöhnlich wasserleerer Ursprung an einer stärker geneigten Stelle der Eisoberfläche ist durch Schmutz, Schlamm und feinen Sand gekennzeichnet; er liegt 2855 m hoch, gerade unterhalb der zwei westlichsten, etagenförmig übereinander gelagerten Kessel. Der unterste und grösste Kessel, welcher in der Fortsetzung der rechten Ufermoräne des Guslarferners liegt, ist im Laufe der Jahre (1893) bis zum Grunde ausgeschmolzen. Die Formation der Kessel und die Vertheilung der Firn- und Schneedecke, die sich an ihrem Südrande lange in den Sommer hinein erhält,

Firnkessel.

¹⁾ Die Karstformen der Gletscher. Hettner's Geogr. Zeitschr. 1895.

²⁾ Die Gletscherausbrüche des Martellthales. Zeitschr. d. D. u. Ö. A.-V. 1890, S. 34.

lassen keinen Zweifel darüber aufkommen, dass die Accumulation, namentlich in der Form von Schneeverwehungen, energisch an ihrer Zuschüttung arbeitet. Wenn sie sich trotzdem dauernd erhalten, so kann entweder die Bewegungsform des Eises oder die Vertheilung der Ablation schuld daran sein. Ersteres ist schwer begreiflich und so wird man wohl an letztere Ursache denken. Dann würde eine subglaciale Ablation durch relativ warme Quellen die einfachste Entstehungsursache darstellen. Dieselben könnten möglicherweise von dem Sickerwasser eines 1500 m entfernten, am Südhang der Guslarspitzen gelegenen Plateaus in 2900 m Höhe entstammen. Von einem hohen Grad von Wahrscheinlichkeit wird man aber bei dieser Erklärung kaum sprechen dürfen.¹⁾

Moränen auf
dem Vernagt-
ferner.

Die Moränen des heutigen Vernagtferners lassen sich im Anschluss an die früheren theoretischen Erörterungen sehr einfach schildern. Sie zeigen bei ihrem Auftauchen aus dem Eise die eigenartige Zuspitzung und beginnen mit einer Blockreihe, die sich rasch verdichtet. Das Moränenband verbreitert sich nach unten zu sehends und sein Schuttinhalt vermehrt sich fortwährend. Sie sind daher als das Ausgehende von Innenmoränen aufzufassen. Die Schmutzfortsetzung nach oben ist sehr ausgeprägt; sie ist auf der Karte angedeutet. In Wirklichkeit ist ihre Grenze weit verwaschener, als sie sich auf der Karte darstellen lässt. Sehr bemerkenswerth ist die Thatsache, dass sich am oberen Ende der Schmutzfortsetzung der beiden längsten Moränen des Hochvernagtferners kleine Schuttlagen befinden. Ihre Herkunft mitten im Firn ist nicht so leicht zu erklären. Es hängt wieder alles davon ab, ob sie stabil sind oder sich im Laufe der Zeit verändern. Bei dem oberen, in 2986 m Höhe gelegenen Vorkommen lässt sich bis jetzt hierüber nichts aussagen, da es den grössten Theil des Jahres unter Schnee vergraben liegt. Das tiefer am Fusse des grossen Eisbruches, 2868 m hoch, gelegene Schuttgebilde ist dagegen auf späteren Photographien von Blümcke und Hess wohl zu erkennen und dürfte daher stationär sein. Nach unserer Auffassung ist der Schutt von einer Innenmoräne, die vom Petersengrat ausgeht, abzuleiten. An die Oberfläche kann sie durch Verschiebungsklüfte, die sich im Eissturz möglicherweise bilden, gerathen; viel wahrscheinlicher erscheint mir aber, dass die Ausschmelzung infolge der starken Ablation in dem klüftreichen Eisbruch schuld daran ist. Wie kommt der Schutt aber wieder unter das Eis, um erst bei 2765 m Höhe von Neuem zu erscheinen? Ist in der Höhe zwischen 2868 und 2765 noch Accumulation anzunehmen? Decken Eislawinen, die an den Steilwänden des Bruches niedergehen, den Schutt wieder zu, oder findet in dem Winkel unterhalb des Bruches eine ungewöhnlich starke Schneeverwehung statt? Beide Factoren mögen hier zusammenwirken. Für das obere Schuttvorkommen reichen alle diese Erwägungen nur nothdürftig und gezwungen zu einer Erklärung aus. Schwierigkeiten ähnlicher Art begegnen wir auch bei der Erklärung von isolierten Moränenspuren, welche am oberen Ende der Schmutzfortsetzung der Guslarmoränen auftreten.²⁾ Sie finden sich sowohl am Fusse des Felsastes, der von

¹⁾ Vergl. hingegen R. Sieger, Karstformen der Gletscher. Hettner's Geogr. Zeitschr. 1895, S. 7 des Sep.-Abz.

²⁾ Alle diese Schwierigkeiten lassen sich natürlich heben, wenn man die betreffenden Moränenspuren nicht als regelmässige Erscheinungen eines stetigen, annähernd stationären Gletschers auffasst, sondern gerade solche tumultuarische Unterbrechungen in der Schutterzeugung (abnorme Felsstürze) oder in der Eisbewegung (plötzlich auftretende und wieder verschwindende Verschiebungsklüfte) annimmt, welche das betreffende Vorkommniss zu erklären geeignet sind. Gerade beim Vernagtferner wäre es verlockend, an solche Ursachen zu denken; allein ehe man mit einem Erfolg auf derlei Speculationen eingehen könnte, müsste man sicher sein, dass die erwähnten Vorkommnisse tatsächlich ephemerer Natur sind und dass sie nicht auch an anderen »zahmen« Gletschern ebensogut auftreten. Bestimmte Anhaltspunkte hiefür fehlen mir zur Zeit noch.

der Kesselwandspitze herabreicht, wie auch unterhalb der schneidigen Klippe, die im P. 3188 m culminiert. Dort ist ihr Auftreten auf muhrenartige Schuttströme, beziehungsweise Lawinen zurückzuführen, welche den Schutt weit über den Eisrand hinaus ins Innere der flachen Mulde verfrachten. Es findet alsdann ein doppelter Schutttransport statt, einer nach Art der reinen Obermoränen, der den Lawinenschutt weiter befördert, und ein zweiter in der Innenmoräne und am Boden vor sich gehender, der den am Eisrande eingeschluckten Schutt zusammen mit dem Grundschnitt weiterführt. Dementsprechend lassen sich auch an den Moränen zwei Theile unterscheiden; eine obere Blockreihe von intermittierendem Charakter ohne nennenswerthe Verbreiterung und daran anschliessend das normale, nach unten scharf divergierende, immer schuttreicher werdende Band. (Vergleiche die Karte.)

Einen ganz verschiedenen Charakter weist die grosse Mittelmoräne zwischen den beiden Fernern auf. Trotz ihres reichen Gehalts an gerollten Geschieben ist sie ihrer Entstehung nach im Wesentlichen Obermoräne. Ihr Schutt stammt grossenteils von den beiden riesigen Seitenmoränen am untern Rande der Hintergrasinsel, die jetzt die Stelle der Thalwände vertreten. (Vergl. Fig. 19, S. 53.)

Die für die Erklärung der Vernagtfernerausbrüche überaus wichtige Frage, ob der eben beschriebene Zustand des Ferners typisch für einen Minimalstand zwischen zwei Vorstössen ist, oder ob er etwa einer ganz aussergewöhnlichen Reduction der Eismassen sein Entstehen verdankt, muss im ersteren Sinne beantwortet werden. Naturgemäß sind die Nachrichten über Minimalstände weit seltener als über Hochstände. Die Akten enthalten bezeichnenderweise so gut wie nichts darüber. Dennoch wissen wir aus Walcher's Bericht, dass vor dem dritten Ausbruch (1771) die beiden Zungen getrennt waren, während Stotter bezeugt, dass vor 1840 die Zungen zwar nicht getrennt waren, sich aber doch in einem sehr reduzierten schuttbedeckten Zustand befunden haben, der wenig verschieden von dem auf der Karte dargestellten gewesen zu sein scheint.

Das vom Gletscher verlassene Terrain.

In der Firnregion finden sich bereits zahlreiche, jetzt apere Stellen, welche mit mehr oder minderer Deutlichkeit erkennen lassen, dass sie früher von Eis bedeckt waren. So zeigen die Felsäste, welche von der Petersenspitze, dem Vorderen Brochkogl, der Hochvernagtspitze und der Kesselwandspitze ausgehend, ins Firnfeld hineinragen, in ihren unteren Theilen keinerlei Klippen und Zacken, sondern vielfach gerundete Formen, welche allerdings mit schroffen Felswänden, frischen Anbrüchen und Blockhalden abwechseln. Erst über 3100 m Höhe beginnen die ausgesprochen klippigen Formen. Am Fusse des Hintergraslkammes breitet sich eine grosse, wellige Felsterrasse in der Höhe von 2950 m aus, welche mit steiler, von Klammen durchfurchter Wand zu dem Grasfleck des Hintergrasls abfällt. Die grossen Formen bilden eine kaum zu erkennende Rundbuckellandschaft, aber in den Einzelzügen ist der Charakter derselben vielfach verwischt. Man wird auffällig an Landschaften erinnert, die sonst nur in den Kalkalpen, z. B. in den oberen Theilen des Plattach an der Zugspitze vorkommen. Tectonische Verhältnisse und Verwitterung prägen sich in den Einzelformen aus; quarzreiche, aufgerichtete Schiefer-schichten sind zu sägeförmigen Rücken herausgearbeitet, zwischen denen blockerfüllte Schluchten oder Scherbenfelder liegen, die bis in den Hochsommer hinein dem Schnee Schutz gewähren und auch noch in aperem Zustande durch ihre lichten Verwitterungsfächen zwischen den dunklen, mit dürftigster Vegetation bekleideten Rücken auffallen.

Der Niederstand
des Ferners in
früheren Zeiten.

Diluviale
Gletscherspuren.

Zu den eigenartigsten Oberflächenformen, die in eisentblössten Gebieten auftreten, gehören die Hochgebirgskare. Ein interessantes Beispiel davon, dessen kartographische Darstellung ich mir besonders angelegen sein liess, findet sich unterhalb des Kleinvernagtferners an der Ostflanke des Schwarzen Kögeles. Es verdient umso mehr Beachtung, als eine mehrfache subglaciale Wiederholung davon unterhalb der beiden Brochkögl im höchsten Grade wahrscheinlich ist. Eine kaum 1—2 Prozent geneigte Schotterfläche von 200 m Länge und 150 m Breite, die von unzähligen versumpften Bachläufen durchzogen ist, — der Rest eines jüngst vergangenen Sees — bildet den in 2883 m Höhe gelegenen Karboden. Derselbe wird von einer flachen, einige Meter hohen, glattgeschliffenen Felsschwelle umrahmt, die nur an drei ganz schmalen Stellen bis zum Karboden ausgetieft ist. Auf die Felsschwelle folgt ein 80 m hoher Felsabsturz. Den sumpfigen Boden umgeben auf der West- und Nordseite flache Schliffbuckel, die sich nach Norden zu steiler erheben und einen terrassenförmigen Anstieg zu einem 50 m höher gelegenen Boden vermitteln, dessen scherbenerfüllte Fläche eine Böschung 1:6 aufweist. Auf der rechten Seite strebt steil die dunkle Felsgestalt des Schwarzkögeles empor. An seiner Ostseite herrscht die gerundete Allgemeinform mit karstartigem Detail; an der Südseite haben zahlreiche Felsstürze, deren mächtige Trümmer in Halden aufgehürt auf den Schliffbuckeln lagern, nahezu lothrechte, zerrissene Wände geschaffen. Riesenblöcke, vom Schwarzkögele stammend, liegen auch unten auf der Felsschwelle, wohin sie der frühere Gletscher verfrachtet hat. Ein winziger, ovaler See (50 m lang, 15 m breit) — ein echtes Felsbecken mit steilen Rändern — ziert die Rundbuckellandschaft; unfern davon liegt ein zweiter, etwas grösserer, den die rechte Ufermoräne des Hochvernagtferners gestaut hat. Die linke Karwand wird von einer Felsstufe gebildet, welche in den rückwärts gelegenen Theilen von den Moränen des Kleinvernagtferners umkleidet ist, während die nach vorn gelegenen Partieen die Wirkung der Wanderosion verfolgen lassen. Oberhalb dieser Felsstufe wiederholt sich das eben beschriebene Kar nochmals in ein Drittel der ursprünglichen Grösse. Hier liegt der Boden in 2935 m Höhe. Dass er noch nicht dauernd verfirnt ist, ist der beste Beweis für die hohe Lage der Firngrenze in den centralen Ötzthaler Alpen. Der untere Karboden birgt die letzten Ausläufer der Grasvegetation. Dieser Umstand im Verein mit seinem Wasserreichtum machen ihn zum Lieblingsaufenthalt der Gamsen und Schafe. Die ganze Landschaft bildet eine instructive Illustration zu der Lehre von der Karbildung durch Wanderosion, wie sie jüngst von E. Richter zu einem gewissen Abschluss gebracht wurde.¹⁾ Nur in einem Punkte versagt das Beispiel. Man sucht vergeblich die jetzt verstopfte Klamm, durch welche das nunmehr ausgefüllte Seebecken vor der letzten Eiserfüllung entwässert worden sein soll. Eine solche Klamm setzt E. Richter nämlich voraus, um die Austiefung des Beckens ohne Zuhilfenahme der Glacialerosion zu erklären. Das Seebecken wäre dann nur ein abgedämmter, am Grunde flachausgeschütteter Thallauf. Diese Ansicht lässt sich hier nicht aufrecht erhalten.. Warum soll aber auch die Glacialerosion gar so wirkungslos gewesen sein, nachdem doch ein mindestens hundert Meter dicker Eistrom das Kar seinerzeit erfüllte?

Lange liegt freilich diese Zeit zurück, weit hinter historischem Gedenken. Nichts deutet darauf hin, dass bei einem der zahlreichen Ausbrüche des Vernagtferners dieses Kar in Mitleidenschaft gezogen worden wäre.

¹⁾ Käre und Hochseen, Verhandlungen der IX. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien 1895, S. 252.

Um vieles jünger und unverwischter sind die Spuren, welche die historischen Ausbrüche des Vernagtferners zurückgelassen haben. Sie bedecken eine Fläche von 240 ha. Ihr auffallendstes Kennzeichen ist die Vegetationslosigkeit. Auf der Karte sind sie durch das Fehlen des grünen Überdruckes erkenntlich; ihre Grenze ist ausserdem noch durch eine Linie blauer Ringelchen gekennzeichnet (vergl. auch Fig. 27). Die Vegetationslosigkeit ist dort absolut, wo infolge der Steilheit des Gehänges eine fortwährende Verlagerung des Schutt statt hat; an flacheren Stellen finden sich isolierte Ansiedelungen allerdürftigster Art, die nur in den tiefsten Theilen, im eigentlichen Rosenthale, die scharfe Grenze gegenüber der ungestörten Vegetationsdecke etwas verwischen. Das ist erklärlich, da jene Theile immer nur kurze Zeit vom Eise bedeckt waren. An den Rändern der heutigen Eiszungen finden sich als unanfechtbare Zeugen früherer Ausdehnung hohe, freistehende Moränenwälle. Ihre Überhöhung der heutigen

Die moderne
Moränenland-
schaft.



Fig. 29. Todtenhügel (P. 2309.7¹) und Kamm des Vernagtbaches.

Eisfläche beträgt am Hochvernagtferner 20 m in der Höhe von 2900 m, 50 m in der Höhe von 2800 m, 70 m in der Höhe von 2700 m. Am Guslarferner sind die Überhöhungen (10 m, 20 m, 50 m) erheblich geringer. Der Umstand, dass die Moränen freistehend sind, d. h. zwischen sich und der eigentlichen Thalwand ein in der Regel wasserführendes Thälchen besitzen, beweist am besten die Irrigkeit der landläufigen Meinung, als ob das Material der Ufermoränen von den Thalwänden stamme. Ihr Material ist vorwiegend Grundmoräne, die von der Unterfläche des

Vertheilung der
Moränen.

¹) Wir benannten diesen Punkt nach einem schauerlichen Fund, den wir dort oben machten. Beim Errichten des Signals fanden wir die zerstreuten Reste eines menschlichen Geripps ohne Kopf nebst vermoderten Kleiderresten, dem Gestell eines Regenschirms, einer Schnapsflasche und einer Geldbörse mit 9 Kreuzern Inhalt. Ein Handwerksbursche hatte sich im Jahre 1885 verirrt und in einem Hagelwetter den Tod des Erfrierens gefunden. Mitth. d. A.-V. 1889, S. 201.

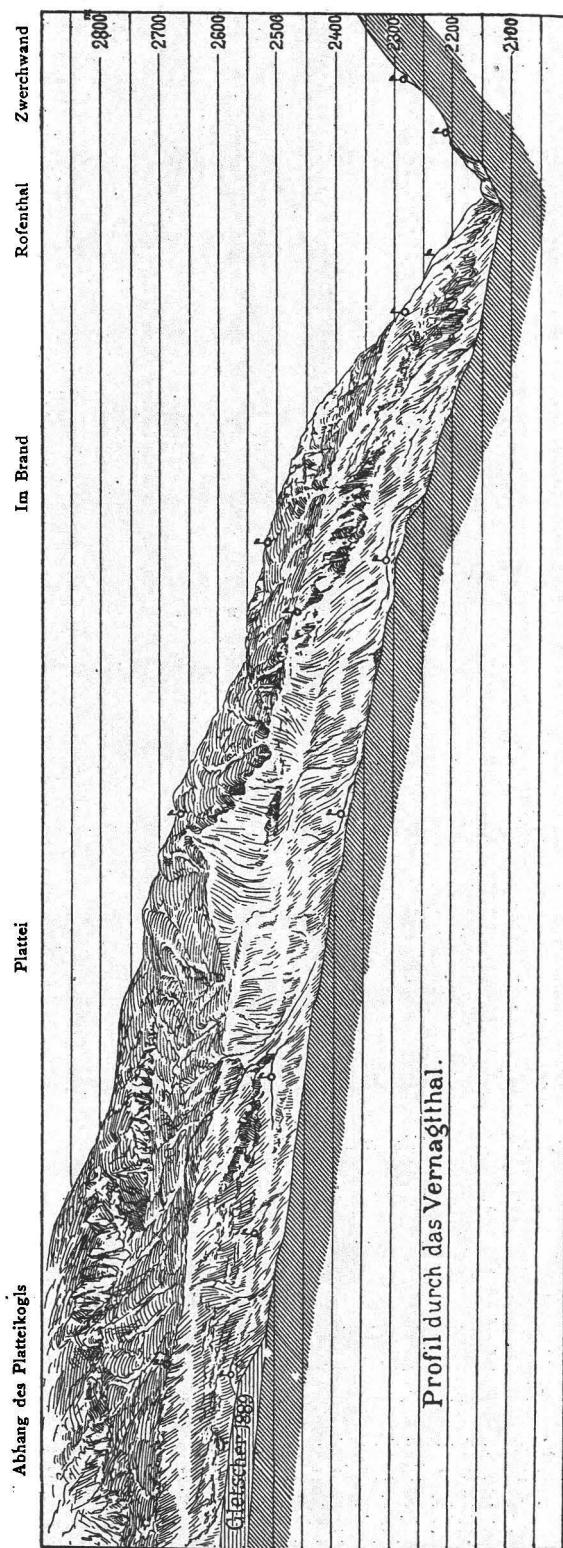


Fig. 30. Profil durch das Vernagtthal und Ansicht der linken Thalseite.

Das vom Felsen verwüstete Gebiet ist durch hellen Ton gekennzeichnet.

bewegten und abschmelzenden Gletschers am Rande ausgequollen ist. Dasselbe ist scharfkantig in der Nähe der Firmlinie und wird immer mehr gerollt, je weiter man herabkommt,¹⁾ was nach den früheren Überlegungen leicht erklärlich ist. In der Höhe von ca. 2700 m hören die grossen Moränenwälle auf. Von hier ab haben wir nur mehr ein grosses Schuttfeld vor uns, in dem nur selten und undeutlich Wallreste zu erkennen sind. Nur am Rande des Schuttfeldes findet sich, wo das Terrain es zulässt, ein niedriger Wall, der selten 5 m Höhe erreicht. An einer Stelle allerdings ist er doppelt so hoch; dort wo am Rofenberg der Gletscher thalaufwärts umbiegt, beim Signal B 2854 o m. An solchen Stellen im todteten Winkel hinter einer Verengung des Bettes treten die Ufermoränen mit Vorliebe auf, eintheils weil hier Gelegenheit gegeben ist, die seitliche Obermoräne zu verlanden, anderntheils weil an solchen Stellen eine starke Geschwindigkeitsminderung gegen den Rand zu statt hat und der Nachschub eine starke seitliche Componente aufweist, welche der Austreibung der Grundmoräne günstig ist. Auf ganz ähnliche Gründe wird es wohl zurückzuführen sein, dass

¹⁾ Diese Thatsache ist mir schon früher anlässlich des Signalbaues aufgefallen. Die Steinmänner, in welche die Signalstangen eingebaut werden, sind aus den kantigen Platten leicht zu errichten und trotzen dem Winde, während sie aus gerollten Geschieben weit schwerer herzustellen und viel weniger stabil sind.

an der steilen Zwerchwand bei 2271.4 m noch eine aus Grundmoränenmaterial bestehende, kleine Ufermoräne sich erhalten hat. (Vergl. Fig. 31.) Dort ist eben auch infolge der Stauung und der hierdurch vermehrten Wirkung der Ablation ein starkes Austreten der Bewegungslinien nach dem Rand zu erwarten. Eingehende Studien über die Vertheilung des Moränenmaterials und über seine Herkunft haben wir nicht angestellt, da uns dazu sowohl die Zeit wie auch die unbedingt nothwendige kartographische Grundlage fehlte. Ich habe es daher auch unterlassen, auf der Karte eine Schuttsignatur auf eisfreiem Gebiet einzutragen. Ich will aber bei dieser Gelegenheit nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass das verlassene Bett des Vernagtferners, namentlich in der Nähe des heutigen Fernerendes, ein ganz ergiebiges Feld für Moränenstudien abgibt, da trotz der Einförmigkeit des Schuttet in petrographischer Beziehung doch sehr auffällige Unterschiede in der Färbung auftreten, nach welchen man die Herkunft des Schuttet ermitteln kann.¹⁾

Neben der auffallenden, schuttanhäufenden Thätigkeit der nunmehr verschwundenen Eiszung des Vernagtferners tritt die erodierende Wirkung derselben stark zurück. Die Felsen des

¹⁾ Ich weise darauf hin, dass die keilförmige Mittelmoräne am Vernagtferner, welche bei 2765 m beginnt, eine ganz scharfe, in der Mitte durchlaufende Grenze zwischen rothem und grauem Schutt aufweist. Sehr schön ist auch jene MoränenGattung entwickelt, welche beim raschen Rückgang der Gletscher entsteht und die M. Gröller von Mildensee als Ebbemoräne bezeichnet. Das Karlseisfeld. Mittheilungen der k. k. geogr. Gesellschaft in Wien. Bd. IX, 1897, S. 67.

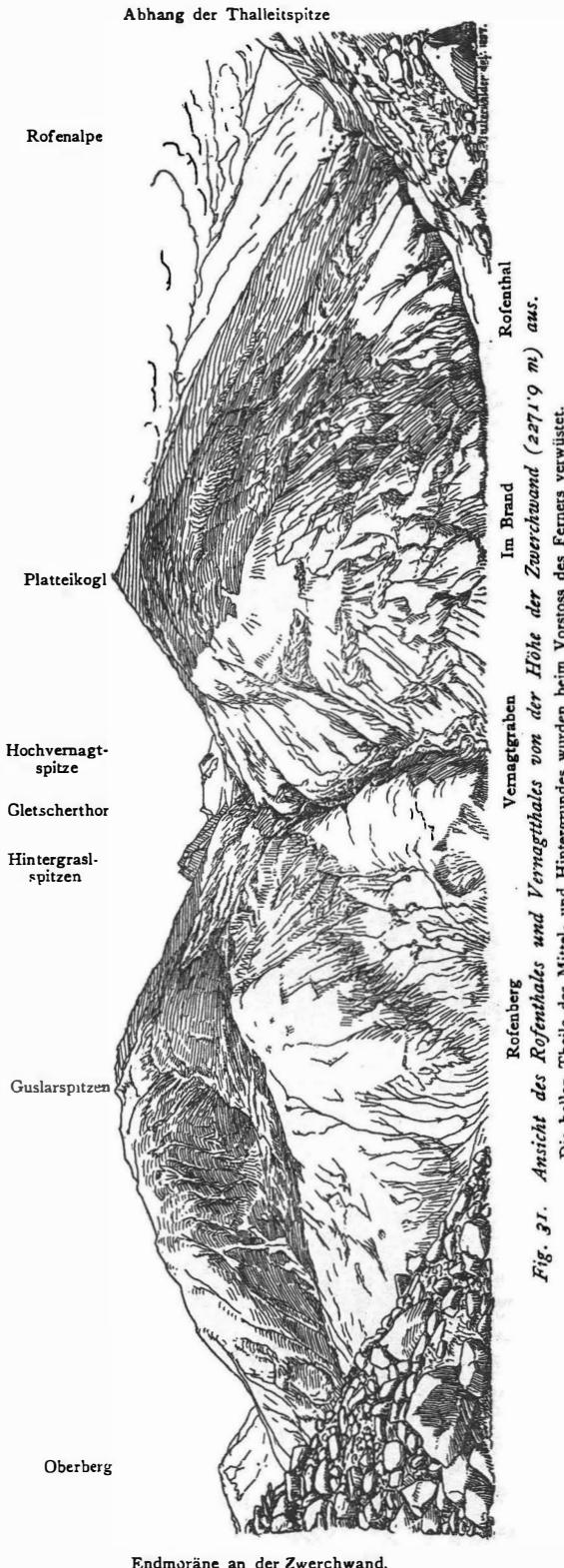


Fig. 31. Ansicht des Rofenthals und Vernagthals von der Höhe der Zwerchwand (2271.9 m) aus.
Die hellen Theile des Mittel- und Hintergrundes wurden beim Vorstoß des Ferners verwitteret.

alten Gletscherbettes zeigen zwar überall Schliifflächen, wo nicht fortdauernde Wanderosion, wie z. B. am Absturz der Zwerchwand, alle Spuren vernichtet, aber es finden sich keine Anzeichen dafür, dass die Eisbewegung die Thalform erheblich beeinflusst hätte. Die genaue kartographische Aufnahme zeigt uns vielmehr, wie sehr die Anlage und Form des Vernagtgrabens durch tectonische Vorgänge bedingt ist. Eine 3—400 m breite, von Felswänden flankierte Rinne (Grabsenkung) zieht geradlinig vom Ende des Hintergrasls gegen das Platei, knickt dort unter einem Winkel von 160° gegen Süden um und verläuft über die Sohle des Rofenthales hinweg jenem brüchigen Winkel an der Zwerchwand zu, deren Trümmer den Saumweg vom Jahre 1871 neuerdings vollständig zerstört haben. Die Thalsohle, welche durch das Bachbett gebildet wird, macht jene Knickung nicht mit; sie verläuft vielmehr geradlinig vom Gletscherthor bis zur Mündung in den Rofenbach. So entstehen verschieden steile Thalwände, die vom Eise mehr oder weniger stark bearbeitet wurden, ohne dass übrigens die ursprüngliche Anlage irgendwie verwischt worden wäre. Bis zur Höhe von 2440 m zeigt der untere Theil des Querprofiles die für Gletscherbette charakteristische U-form, von dort ab herrscht die V-form, die der Wassererosion eigen ist, vor. Es verschwinden auch sonst die Spuren der Glacialerosion mehr und mehr und an der Stelle, wo ein kleiner Hügel mitten in der Thalsohle den Übergang zu stärkerem Gefälle markiert, beginnt eine wohl ausgebildete Klamm, an deren Austiefung der Bach mit sichtlichem Erfolg thätig ist. Das Bild Fig. 29 zeigt am besten, wie sehr an diesen Stellen der Charakter der Rundbuckellandschaft verschwunden ist.

In der Nähe des heutigen Gletscherendes finden sich an der linken Thalseite einige relativ ebene Stellen bei 2531 m, 2502 m, 2440 m, die wohl als Reste eines alten felsigen Thalbodens aufzufassen sind, dessen Gefälle erheblich geringer war, als das des heutigen. Ähnliche bei 2660 m und 2650 m vorkommende Ebenen deuten auf einen noch höher gelegenen und noch flacheren Thalboden hin. (Vergl. Fig. 30.) Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass der Vernagtgraben eine Ausnahme unter allen Bachbetten des hinteren Venter- und Gurglerthales bildet. Die hochgelegenen versirnten Käre dieses Gebietes senden ihre Wasserläufe durchwegs in wenig ausgeprägten Rinnen über die ungegliederte Thalwand zur grossen Ache; nirgends findet sich ein gleich tief eingeschnittenes Thal wie unterhalb des Vernagtferners. Die erwähnten alten Thalböden weisen darauf hin, dass die Verhältnisse am Vernagtferner früher diese Ausnahmestellung nicht hatten.

Landschaftsbild
des alten
Gletscherbettes.

Das verlassene Gletscherbett des Vernagtferners überwältigt durch seine Grösse, Unwegsamkeit und Öde. Von der Höhe der Zwerchwand (Fig. 31) schweift das Auge viele Hunderte von Metern weit, thalauf und thalab über verwüsteten Schutt- und Felsboden. Nahezu 200 m unterhalb des Standpunktes mündet der Vernagtbach in die Rofenache. Über 2 km weit zieht sich ein breites, felsdurchsetztes Schuttfeld von abschreckender Steilheit und Wildheit an beiden Seiten des Vernagtbaches empor. Kaum erkennt noch der Kundige die winzige, schuttverhüllte Gletscherzunge, hinter welcher die wilden Zacken der Hintergraslspitzen in die Lüfte ragen. Bei anhaltendem Regen kommt unheimliches Leben in die starre Landschaft. Muhren durchfurchen die abschüssigen Schutthalden, losgewordene Moränenblöcke rollen zu Thal und am Abbruch der Zwerchwand sausen zahllose Felstrümmer herunter und schlagen mit lautem Getöse auf den Blockhalden auf. Im Frühsommer aber, zur Zeit der Schneeschmelze, ist hier kein Fussbreit Boden, über den nicht Lawinen fegen. Die grösseren Lawinenreste dauern manchmal mehrere Sommer aus und bilden Hirten und Jägern willkommene Brücken über die sonst unpassierbaren Bäche. Vergleiche die Karte, wo bei P. 2164 solche Lawinenreste verzeichnet sind.

Der Vernagtferner zur Zeit des Maximalstandes und der Stausee.

Die 240 ha grosse Schuttwüste, welche dem Vernagtferner vorgelagert ist, war viermal vom Eise überflutet, das letzte Mal 40 Jahre vor Aufnahme der Karte. Die an den meisten Stellen noch sehr scharfen Grenzen sind in der Karte verzeichnet und gestatten eine Ermittlung des Cubikinhaltes der nunmehr verschwundenen Eismassen. Dabei sind zwei Voraussetzungen zu machen. Erstens müssen die Grenzen nahezu gleichzeitig erreicht worden sein, so dass der gesammte vom Eise verwüstete Raum auch einmal ganz mit Eis gefüllt war, und zweitens müssen die Formen des Raumes derart sein, dass die jetzt fehlende Eisoberfläche aus ihren Rändern mit einiger Sicherheit rekonstruiert werden kann. Beide Voraussetzungen treffen hier zu. Stotter berichtet nämlich ausdrücklich, dass nach seiner eigenen Wahrnehmung und allen Berichten der Ferner auch in den oberen Theilen fortwährend wuchs, während er sich unten an der Zwerchwand ausbreitete. Die Form des alten Fernerbettes ist außerdem am Vernagtferner infolge der grossen Tiefendimensionen, welche ein Viertel der Breitendimensionen erreichen, besser als irgendwo zur Volumenbestimmung geeignet, so dass der Einfluss der Unsicherheit der hypothetischen Eisoberfläche auf das Resultat hier ganz unbedeutend wird. Die Volumbestimmung wird rationell so vorgenommen, dass man zunächst die Isohypsen für die alte Eisoberfläche ergänzt und dann den Raum, der früher von Eis gefüllt war, in horizontale Scheiben von gleicher Dicke zerschneidet, deren Inhalt als Mittel aus Grund- und Deckfläche mal Dicke, oder nach einer ähnlichen Näherungsformel (z. B. der Simpson'schen Regel) berechnet wird. Die Flächen der Scheiben findet man dabei mittels des Planimeters. Die Figur 32 stellt eine solche Zerschneidung in Scheiben von 50 m Dicke vor. Sie gibt eine Vorstellung, in welcher Weise die Eisoberfläche ergänzt wurde. Eine Ausmessung im Maassstab 1 : 20 000 und darauffolgende Berechnung ergab 242 400 000 cbm . Eine andere Zerschneidung in 50 m dicke Scheiben, welche sich gerade zwischen die vorhergehenden einschalteten, führte zu einem Resultat von 236 700 000 cbm . Die Combination beider Zerschneidungen, die 34 Scheiben von 25 m Dicke lieferte, ergab 239 400 000 cbm . Zur Probe liess ich noch eine neue Zerschneidung in 60 m dicke Scheiben im Maassstab 1 : 10 000 auswerthen, wobei 238 200 000 cbm zum Vorschein kamen. Der Volumverlust kann somit zu 239 Mill. cbm mit einer Genauigkeit von etwa 1 Prozent angesetzt werden.¹⁾

Bei der Wichtigkeit der eben ermittelten Grösse für jede Erklärung des Gletschervorstoßes waren schon früher Versuche zu ihrer Bestimmung gemacht worden. Stotter schätzte 1845 beim Vorstoß den Zuwachs zu 70 Mill. cbm , E. Richter glaubte 1888, dass ein Zuwachs von 80 Mill. cbm genügen würde, um das Fernerende wieder an die Zwerchwand zu treiben. Diese Schätzungen sind

Der Cubikinhalt
der verschwun-
denen Zunge.

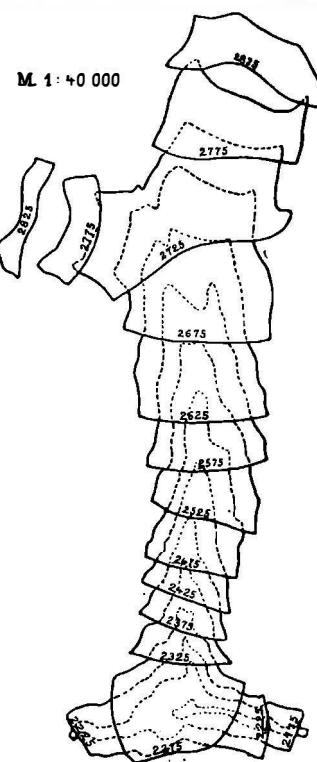


Fig. 32. Zerschneidung der alten Fernerzunge behufs Berechnung des Substanzverlustes.

¹⁾ Zweifellos ist das Volumen nicht mit compactem Eis angefüllt gewesen; ich halte es aber für sehr reichlich gerechnet, wenn man 10 Prozent für Spalten und Hohlräume abzieht.

viel zu niedrig. Zieht man in der Höhe von 2700 m eine Linie, welche die beiden alten Fernerränder verbindet, so beträgt der Volumverlust unterhalb dieser Linie 137 Mill. cbm , oberhalb derselben 102 Mill. cbm . Um ungefähr letzteren Betrag ist also die heutige Gletscheroberfläche gegenüber der früheren eingesunken, während ersterer auf das gänzlich verschwundene Zungenstück entfällt. Die Eismasse im Rofenthal, welche die Seeaufstauung direct bewirkt (der »Dammferner« der alten Akten) ist dabei auf 25 Mill. cbm zu veranschlagen; er ist in den Schätzungen Richter's und Stotter's nur zum kleinen Theil berücksichtigt.

Vergleich des Eisverlustes am Vernagtferner mit dem anderer Gletscher.

Im Vergleiche zu den Volumverlusten an anderen Gletschern erscheint der am Vernagt ausserordentlich gross. Vor neun Jahren¹⁾ habe ich in einer gemeinsamen Arbeit mit Dr. H. Schunck darauf hingewiesen, dass im Allgemeinen eine angenäherte Proportionalität zwischen der Grösse der Ferner und ihrem Volumverluste innerhalb einer Schwankung besteht. Ich fand damals im Mittel aus: Gliederferner, Hornkees, Alpeinerferner, Suldenferner, Obersulzbachferner, Gepatschferner und Pasterze 6.15 cbm Eisverlust pro Quadratmeter Gletscherfläche und später hat E. Richter²⁾ aus ähnlichem Material dieselbe Grösse, 6.17 cbm , erhalten. Eine Revision der damals benutzten Zahlen mit Rücksicht auf die seither eingetretenen Verluste macht eine Erhöhung des früher berechneten Betrages auf nahezu 7 m nothwendig. Trotzdem erreicht derselbe noch nicht die Hälfte der für den Vernagtferner geltenden Zahl, der bei 1604 ha Fläche 239 Mill. cbm , also 14.9 cbm pro Quadratmeter verloren hat. Ein ähnliches Verhältniss, nämlich 11.5 cbm , lässt sich sonst nur für den Hochjochferner, dessen Rückgang bezeichnenderweise gerade am wenigsten in die Augen fallend ist, berechnen. Hess und Kerschensteiner geben (Zeitschr. des A.-V. 1892, S. 27) den Substanzverlust zu 137 500 000 cbm , während die Gesammtfläche des Ferners nach Blümcke und Hess (Zeitschr. des A.-V. 1895, S. 20) 1193 ha beträgt. Man darf aber nicht vergessen, dass die Sicherheit, mit welcher der Volumverlust am Hochjochferner ermittelt werden kann, bei der grossen Breite des Gletschers nur sehr gering ist und derselbe leicht überschätzt werden kann, wenn man den starken Dickenrückgang am Rande ohne Weiteres auf die Mitte überträgt. Der Volumverlust des Vernagtferners seit seinem letzten Maximum ist daher mehr als doppelt so gross, wie der anderer Ferner gleicher Ausdehnung.

Die stationäre Strömung im alten Gletscherbett.

Die Frage, in welcher Weise hat der Vernagtferner sein früheres Bett ausgefüllt, beziehungsweise wie hat er sich in demselben bewegt, ist an der Hand des historischen Materials zu beantworten. Es ist aber nicht uninteressant, rein theoretisch eine stationäre Strömung in dem bekannten Bett zu verfolgen und sie nachher mit den wirklich beobachteten Thatsachen zu vergleichen. Die früheren Entwickelungen, welche in dem auf Tafel I reproduzierten Beispiel ihren Abschluss fanden, lassen sich einigermaassen auch auf das Bett des Vernagtferners anwenden, namentlich soweit es geradlinig verläuft. Auch für die beiden Enden des hammerförmigen Theiles treffen die Voraussetzungen noch ziemlich zu, so dass nur ein trapezförmiger Theil zwischen denselben, in dem die Theilung der Strömung statt hat, unsicher bleibt. Durch Einschalten krummflächiger Querschnitte, welche die voraussichtlich eintretende Strömung möglichst senkrecht durchsetzen, kann man sich auch hier zu helfen versuchen, und so entstand die beistehende Figur 33,³⁾ welche

¹⁾ Der Gepatschferner. Zeitschr. des A.-V. 1888, S. 56.

²⁾ Gletscher der Ostalpen, S. 297.

³⁾ Zur Einordnung derselben in die Karte sei bemerkt, dass der oberste Querschnitt gerade durch das Gletscherthor vom Jahre 1889 geht. Die Querschnitte stehen senkrecht zu einer Geraden, welche vom Gletscherthor zum Abbruch an der Zwerchwand läuft.

die Strömung in dem als stationär vorausgesetzten Gletscher zur Zeit des Maximums zu veranschaulichen sucht. Die benützten Querschnitte sind durch Striche an den Rändern angedeutet und die der Construction zu Grunde gelegten Zahlen nebenan vermerkt. Dabei bedeutet wie früher: Q den Querschnitt in ha , a die jährliche Ablation in m , V die mittlere jährliche Geschwindigkeit in m , E die den Querschnitt Q jährlich passierende Eismenge in Millionen cbm . Die ausgezogenen Curven geben die Projection der Strom- bzw. Bewegungslinien, die gestrichelten die Linien gleicher Oberflächengeschwindigkeit, die dazu geschriebenen Zahlen bedeuten m pro Jahr. Die Ablationszahlen sind absichtlich sehr niedrig angenommen, für normale Verhältnisse des Ötzthales wäre nahezu das Doppelte anzusetzen. Trotzdem ergeben sich recht ansehnliche Geschwindigkeiten bis zu 80 m . Bei doppelten Ablationszahlen würden sich dieselben natürlich doppelt so gross ergeben haben. Beachtenswerth ist, dass das Maximum der Geschwindigkeit nicht an der Stelle grössten Gefälles, sondern oberhalb derselben, am Beginn einer Einschnürung des Querschnittes liegt. An der steilen Stelle macht sich vielmehr eine rapide Geschwindigkeitsabnahme bemerklich. Die Oberflächengeschwindigkeit des Dammfners sind sehr gering, unter 15 m im Jahr, und man begreift leicht, dass eine geringe Störung im Nachschub dort zum völligen Stillstand führt. Der Verlauf der Stromlinien ist trotz mancher Unregelmässigkeiten des Gletscherbettes ein recht regelmässiger und ungestörter. Terrassen, wie jene, welche das Signal 25021 trägt, prägen sich in dem Verlauf kaum mehr aus. Dagegen findet sich das charakteristische Zusammendrängen an den tiefsten Stellen des Bettes und das Anschmiegen ihres Zuges an die Windungen der ganzen Thalform, unabhängig vom Verlauf des Baches auf der Sohle. Zu erwähnen ist noch das häufigere Stranden der Stromlinien an den einspringenden Ecken, die sich am Ansatz des Dammfners bilden. Diese Stellen sind der Moränenanhäufung günstig.¹⁾

Sobald wir nun versuchen, dieses gleichsam theoretisch gewonnene Resultat mit der Erfahrung zu vergleichen, stossen wir auf unüberwindliche Hindernisse,

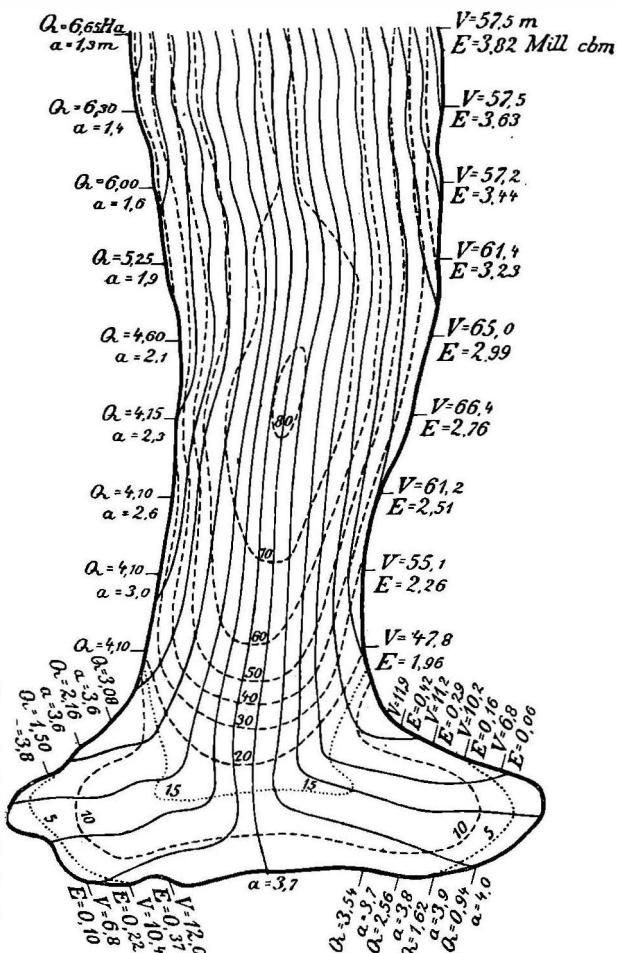


Fig. 33. Stationäre Strömung in der alten Zunge des Vernagtferners.

¹⁾ Vergleiche S. 56.

welche in der Mangelhaftigkeit des früheren Beobachtungsmaterials begründet sind. Vergleich mit der Erfahrung; Unzulänglichkeit der Messungen Schlagintweits. Zwar haben die Gebrüder Schlagintweit gerade zur kritischen Zeit in den Jahren 1847 und 1848 am Vernagt beobachtet, ja sogar »ausführliche Triangulationen auf dem Vernagt- und Hintereisgletscher« angestellt, sowie zahlreiche baro- und hypsometrische Höhenmessungen vorgenommen, aber wie sich zeigen wird ohne jedes brauchbare Resultat. Ihr Hauptmessinstrument, eine Art Prismenquadrant (Prismenporrhometer) mit $4'$ Ablesung ohne Fernrohr, ohne Libelle und ohne Bussole, das sogar zu den Höhenmessungen nur auf einen mit dem Senkel lothrecht gestellten Stock gerichtet wurde, wäre selbst in der Hand eines gewieften Geometers nur eine Quelle von Irrthümern, wievielmehr aber in der Hand der jugendlichen Forscher,¹⁾ denen kaum mehr als die nothdürftigste theoretische Grundlage, keineswegs aber das Handwerk des Messens geläufig war! Das Ergebniss ihrer topographischen Arbeit in dem genannten Gebiete beschränkt sich denn auch auf einige Abänderungen der alten Generalstabskarte an der Zunge des Vernagtferners, die aber so irrthümlich sind, dass sie nicht einmal die Hammerform der Zunge zum Ausdruck bringen, und auf einen in Holzschnitt reproduzierten Plan sammt Profil der Übergangsstelle über den Dammferner.

Dieser Plan wäre ein sehr wichtiges Document zur zahlenmässigen Ermittelung der Dimensionen des Maximalstandes, falls er sich mit einiger Sicherheit in die Karte, welche die heutigen Verhältnisse darstellt, einpassen liesse. Das ist aber nicht der Fall. Er trägt einen nach Norden gerichteten Orientierungspfeil und ausserdem noch zwei mit $N 67^{\circ} O$ und $N 32^{\circ} O$ bezeichnete Richtungen, die mit ersterem Winkel von 57° und 67° einschliessen. Lässt man letztere Angaben ausser Betracht und ordnet man den Plan nach dem Pfeil in die Gletschergrenzen ein, so kommt man zu einer Trace für den Übergang, welche zwar wohl möglich erscheint, bei der aber die beiden Endpunkte eine Höhendifferenz von 150 m aufweisen, während dieselbe nach dem Ergebniss der Höhenmessung nur 4 m sein sollte. Auf dem Profil ist der Höhenunterschied allerdings 30 m , aber die demselben beigefügte Höhenskala ist ganz ausser Zusammenhang mit dem ziffermässigen Ergebniss der Messungen. Dreht man den Plan solange, bis die Differenz der Höhen auf der neuen Karte an den Endpunkten der Trace nur mehr $30-40\text{ m}$ beträgt, so weist der Nordpfeil um $15-12^{\circ}$ nach Westen, was etwa mit der magnetischen Declination stimmen würde. Die von den Gebrüdern Schlagintweit doppelt bestimmte Höhe der rechten Übergangsstelle bekäme dann die Höhe von ca. 2230 m , also 50 m mehr als sie angeben. Wollte man diesen Umstand in anbetracht der Fehler absoluter barometrischer Messungen auf sich beruhen lassen, so bliebe immer noch zu erklären, wieso die Schlagintweit die Entfernung ihrer drei auf der Übergangsstelle gelegenen Signale für Geschwindigkeitsmessungen von der Zwerchwand zu 483 m angeben, während sie bei dieser Einpassung 300 m , 190 m und 220 m betragen. In einer Entfernung von 483 m von der Zwerchwand ist übrigens die Breite des Vernagtferners nur mehr 540 m , so dass sich eine Einpassung des Schlagintweitschen Planes mit 996 m Länge nach dieser Angabe von selbst verbietet. Glücklicherweise sind die Geschwindigkeitsbeobachtungen nach einer Methode angestellt, die von den Resultaten der eben gekennzeichneten Triangulation unabhängig ist. An den drei vorhin genannten Signalen, die nach Allem etwas nördlich der Längsachse des Dammferners gelegen waren, fanden sie als Ergebniss einer vom 28. August bis 20. September 1847 dauernden Messungsreihe tägliche Geschwindigkeiten von $6\cdot00\text{ cm}$ links,²⁾ $9\cdot43\text{ cm}$ in der Mitte,³⁾ $7\cdot92\text{ cm}$ rechts⁴⁾ oder aufs Jahr gerechnet:

¹⁾ Hermann Schlagintweit zählte 1847 21 Jahre, Adolf 18 Jahre.

²⁾ Nach S. 95 m vom linken Ufer entfernt. ³⁾ 392 m vom linken Ufer; nach dem Plan wäre 492 m richtiger. ⁴⁾ 801 m vom linken und 195 m vom rechten Ufer entfernt.

22 m, 34.5 m, 29 m. An den Stellen, welche durch die zuletzt erwähnte Einpassung des Schlagintweit'schen Planes gegeben sind, hat die Fig. 33 12 m, 17 m und 12 m, also geringere Geschwindigkeiten. Ob die Gebrüder Schlagintweit die stark divergierenden Bewegungsrichtungen an den seitlichen Signalen, die nach Fig. 33 zu erwarten wären, beobachtet haben, ist nicht zu ersehen. Die Gebrüder Schlagintweit haben noch auf einer zweiten Linie, 840 m von der Zwerchwand entfernt, die Geschwindigkeit gemessen, wobei sie in der Mitte (229 m vom linken Rand) 12.91 cm, näher am Rande (71 m davon) 5.98 cm pro Tag fanden. Aufs Jahr gerechnet ergiebt dies 47 m und 22 m, während unsere Figur an derselben Stelle 72 m und 50 m, also weit grössere Geschwindigkeiten zeigt. Daraus darf man wohl schliessen, dass sich im Jahre 1847 die höheren Theile bereits in einem gegenüber den stationären Verhältnissen verminderten Bewegungszustand befanden, während der Dammferner noch stärkere Bewegung aufwies. Die Aufstauung des Sees im Winter 1847—48 und der rapide Verfall des Gletschers vom Sommer 1848 ab scheinen diesen Schluss zu bestätigen. Offenbar kommt der Gletscher nach seinem Vorstoss zu keinem stationären Zustand, das heisst zu einem Gleichgewicht zwischen Ablation und Nachschub; es bewegt sich dabei eine Welle von Eis nach abwärts, die sich zwar nicht auffällig an der Oberfläche äussert, aber immerhin in den Abweichungen der Geschwindigkeiten von denen eines stationären Gletschers von gleicher Form verräth.¹⁾

Obwohl die Gebrüder Schlagintweit bei ihren Besteigungen der Mittleren Guslarspitze und des Platteikogls reichlich Gelegenheit hatten, auch die oberen Theile des Vernagtferners kennen zu lernen, findet sich in ihren Veröffentlichungen ausser einer Bemerkung über Ogiven, bei der erwähnt wird, dass der Rofenthaler (jetzt Guslar-) Ferner bald nach der Vereinigung mit dem Hochvernagtferner an dem Hintergrasl auskeilt, nichts, was zur Charakterisierung der Dimensionen und des Zustandes dieser Theile des Vernagtferners dienlich wäre. Ein Holzschnitt zu der erwähnten Bemerkung ist deshalb beachtenswerth, weil er im Gegensatz zur Hauptkarte die Hammerform der Zunge, wenn schon nicht in richtigen Verhältnissen, darstellt.

Hingegen besitzen wir eine Schilderung des Firnfeldes und der oberen Partieen der Fernerzungen aus der Zeit der intensivsten Thätigkeit beim Beginn des letzten Vorstosses am 13. Juni 1845. Sie stammt aus der Feder M. Stotter's, eines der Mitglieder der technischen Commission, welche die Regierung zur Begutachtung der Sachlage am Ferner entsandt hatte. Ich gebe sie mit einigen Kürzungen wieder und bitte den Leser, sie mit der Karte des heutigen Vernagtferners und mit der Fig. 34 zu vergleichen. Die Commission lagerte eine halbe Stunde unter der Kuppe des Platteinberges am Abhang gegen das Vernagtthal.

»Das ganze Gebieth der Vernagtferner mit allen ihren Firnkaren lag vor uns. Rechts bildet die sehr steile Abdachung des Platteinberges den Rahmen Westlich vom Platteinberg bis zum steilen und öden Geschrölfe in Hintergraslen erfüllt das oberste Lager des Hochvernagtferners den weiten Raum, und theilt sich in zwei Gruppen von Firnkaren, welche ein vom Eise freier Berggrücken im Hintergrunde scheidet.²⁾ Beide Gruppen stehen mit dem Gebatscher-Eismeere jenseits des

Der Zustand des
Ferners nach Be-
ginn des Vor-
stosses.

¹⁾ Nach dem früher entwickelten sind solche Geschwindigkeitsabweichungen ohne gleichzeitige Oberflächenänderungen streng genommen nicht möglich, da sie unter Voraussetzung konstanter Dichte der Continuitätsgleichung widersprechen würden. Dort, wo die Geschwindigkeit grösser ist, als die dem stationären Zustande entsprechende, muss eine Hebung der Oberfläche erfolgen, dort, wo sie geringer ist, besorgt die Ablation eine Erniedrigung. Letztere wird aber erst im Laufe der Jahre auffallend und kann bei der kurzen Zeit, welche die Welle unterwegs ist, nicht beobachtet werden.

²⁾ Es ist dies der Rücken, der von der Hochvernagtspitze herabzieht. Stotter übersieht hier nur den Zufluss von der Schwarzwandspitze und die Hälfte des Mittelferners, die andern Theile sind vom Rahmen des Platteinberges gedeckt.

Gebirges in unmittelbarer Verbindung¹⁾ und vereinigen sich diesseits zu einem ausgedehnten Gletscherfelde, das zimlich flach und unzerrissen am Fusse jenes Bergrückens liegt. Dieses oberste Lager, in welchem der Hochvernagtferner eine grosse Mächtigkeit gewonnen hat, begränzen thalabwärts zwei gegenüberliegende Vorsprünge von Hintergraslen und Platteinberge²⁾ und beengen den Eisstrom der, an beiden Rändern zerklüftet, in der Mitte hügelartig, sich erhebt und von Querschründen durchzogen ist. Von dieser Stelle senkt sich der Hochvernagtferner gerade in sein Thal herab, und überdeckt die ganze Breite desselben. Seine Ränder biegen sich in der Richtung der Thalwände etwas nach aufwärts³⁾ und zerstückeln, wo immer ihrer Bewegung ein Hinderniss entgegentritt. Der linke Rand weicht vom Platteinberge etwas zurück,⁴⁾ und dessen Eis ist der ganzen Länge nach mit Schlamm bedeckt. Die Oberfläche dieser Fernerparthie zeigt im mittlern Theil eine leichte Einsenkung, ist übrigens ganz glatt und mit einer dünnen Schneedecke überzogen. So bleibt der Hochvernagtferner bis zur Vereinigung mit dem Rofenthalerferner⁵⁾ an der Ecke in Hintergraslen. Der Letztere geht aus drei Firnkaren hervor, von denen zwei am westlichen Abhange in Hintergraslen angeheftet sind, und bald verschmelzen. Das dritte blickt vom Rofnerberge herab und ist anfangs durch einen schmalen Felsenkamm⁶⁾ getrennt von dem noch einzelne Spitzen aus dem Eise hervorragen. Der Eisstrom welcher aus diesen geräumigen Karen sich bildet, ist sehr mächtig, läuft im Beginne parallel mit dem Hochvernagtferner, biegt, sobald er den Guslarberg erreicht hat, unter einem nicht sehr stumpfen Winkel gegen das Vernagtthal ein und steigt mit einer Neigung von 16 Graden herab. An der Beugung ist die Zerklüftung sehr stark, abwärts bemerkt man nur noch vier Querklüfte, welche aber die gewölbte Zunge nicht bis an die Ränder spalteten. Der Rofenthalerferner füllt sein Thal im untern Theile nicht ganz aus. Am rechten Rande, wo ein breiter Schuttwall ihn umgibt, bleibt noch ein Streifen davon frei. Ein schneebedecktes Eisfeld,⁷⁾ das vom Guslarberge sich herabneigt, scheint diese Lücke ausfüllen zu wollen. Auch der linke Rand neigt sich nicht fest an den Bergrücken in Hintergraslen An der Ecke in Hintergraslen, wo beide Ferner unter einem Winkel von 60 bis 70 Grad⁸⁾ zusammen stossen, erhebt sich ein hoher Eisrücken. Die fast rechtwinklige Richtung des Druckes, den der Rofenthalerferner auf den innern Rand des Hochvernagtferners ausübt, zwang diesen sich steilaufzubiegen, und verursachte eine Zerstückelung aufwärts dieser Stelle, indem er das gleichmässige Vorschreiten hinderte. Auf der Mitte dieses Eisflügels gerade von der Ecke aus zieht sich ein schwarzer Streifen aus Schlamm Sand und kleinen Felstrümmern gebildet, und verlängert sich über die ganze Oberfläche, die Gränze der hier vereinigten Eisströme bis an ihr unteres Ende bezeichnend. Es ist dies die Gufferlinie oder Mittelmoräne und entsteht theils wie gewöhnlich aus den Gandecken der inneren Ränder beider

¹⁾ Dies trifft nur für den erstgenannten Zufluss beim Gepatschjoch zu, der Mittelferner hängt am Sextenjoch mit dem Sechsegertenferner und am Taschachjoch mit dem Taschachferner zusammen.

²⁾ Als Vorsprung des Platteinberges ist das Schwarzkögele aufzufassen.

³⁾ Ein solches Aufwärtsneigen der schuttbedeckten zerspaltenen Ränder habe ich auch an dem vorschreitenden Ortlerzufluss des Suldenferners beobachtet.

⁴⁾ Das Thälchen zwischen der Moräne und den Felsstufen am Platteinhang ist heute noch zu sehen und beweist, dass östlich vom Schwarzkögele kein Zufluss zum Ferner herabreichte.

⁵⁾ Heute Guslarferner genannt.

⁶⁾ Als Rofnerberg sind die Kesselwände mit dem Nock oberhalb der Rofenberger Alm aufzufassen, der Felskamm zieht von der Kesselwandspitze herab. Er war damals (Mitte Juni) noch stark verschneit.

⁷⁾ Der Kleinguslarferner der Karte.

⁸⁾ In Wirklichkeit 85°.

Gletscher, theils aus der Stirnmoräne des Rofenthalerferners welche nach früheren Beobachtungen sehr gross war, während der Vereinigung beider Eisströme aber gehoben und dann thalabwärts vertheilt wurde. Die Richtung dieser Gufferlinie ist nicht ganz parallel mit den Thalwänden, sondern macht gleich nach dem Zusammenstosse der Ferner eine leichte bogenförmige Krümmung in das Terrain des Hochvernagtferners, eine Folge des stärker andringenden Rofenthalerferners. . . . Gleich nach dem Zusammenstosse beider Gletscher beginnt ein System von Zerklüftung, das die ungewöhnliche Gestaltung dieses Ferners im untern Theile veranlasst. Die ersten Schründen zeigen sich am Hochvernagtferner nahe an der Ecke von Hintergraslen, gehen von der Mittelmoräne aus und drängen sich gegen die Mitte des Gletschers. Sie sind kurz, klaffen wenig, folgen an Länge und Breite zunehmend parallel in fast gleicher Entfernung einander, und ziehen allmälig nicht nur durch die ganze Breite des Ferners sondern auch durch die Mittelmoräne in den Rofenthalerferner, der dadurch seinem Nachbar bald gleichgestellt wird. Jedes durch solche Querschründen abgesonderte Eisstück ist etwas niedergesunken und liegt tiefer als das nächst obere. . . .

Nun folgt eine langathmige Beschreibung des unteren Zungentheils, wo Längsklüfte mit den Querklüften combiniert eine Zertheilung der Oberflächenschicht in Eiswürfel bewirken, die sich weiterhin infolge der Ablation zu Eisnadeln umformen, welche dann an der Stelle, wo eine Einschnürung der Breite von 760 m auf 500 m, verbunden mit Vermehrung des Gefälles, eine Steigerung der Eisbewegung im Ganzen und mehr noch der Geschwindigkeitsunterschiede in den Theilen bewirkt, durcheinander geworfen werden und der Eisoberfläche den Charakter eines stets wechselnden Trümmerfeldes verleihen. Er macht es auch wahrscheinlich, dass sich unter der zermalmten Oberflächenschicht eine continuierlich fliessende Eismasse befindet. Infolge der tumultuarischen Bewegungen des Eises blieb der Abfluss des Vernagtbaches oft tagelang aus, und es mussten sich also Wassermassen von 100 000 cbm und mehr im Innern der zerklüfteten Eismasse ansammeln. Dieser Umstand legt Stotter den Gedanken nahe, ob nicht etwa jenes Wasser durch Wiedergefrieren die bewegten Eismassen vermehrt. Die grosse latente Wärme des Wassers und die geringe spezifische Wärme des Eises sprechen aber unbedingt gegen einen solchen Vorgang. Dass diese Wassermassen durch Verminderung der inneren Reibung der bewegten Eismassen und durch ihren hydrostatischen Druck beschleunigend auf die Bewegung wirken, ist unmittelbar klar.

Nach der Beschreibung Stotter's habe ich in Fig. 34 eine kartographische Reconstruction der damaligen Verhältnisse auf Grund unserer Karte versucht. Dieselbe fiel ganz anders aus, als die Stotter's Büchlein beigegebene Karte. Wer diese gesehen hat, wird aber nicht zweifeln, dass Stotter's Wort mehr zu trauen ist, als seinem Stift.

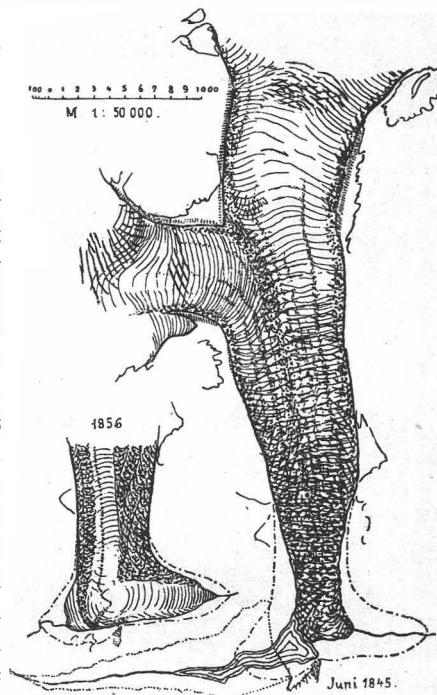


Fig. 34. Zustand der Fernerzunge nach Stotter 1845 und Sonklar 1856.

Weiterer Verlauf
des Ausbruches:
Sonklar's Karte.

Aus Stotter's Beschreibung und aus allen sonstigen Nachrichten über den letzten und frühere grosse Vorstöße geht hervor, dass im Anfangsstadium beide Componenten des Ferners annähernd gleichmässig zur Bildung der Zunge beitragen. Das muss sich aber ändern, sobald der Eisvorraht im Firnfeld des dreimal kleineren Guslarferners erschöpft ist. Den weiteren Nachschub hat der Hochvernagtferner zu liefern und dabei muss die Mittelmoräne gegen den rechten Fernerrand zu wandern und schliesslich zur Seitenmoräne werden, wie dies nach der oben citierten Bemerkung Schlagintweit's 1847 bereits thatsächlich der Fall war. Auch die Kartenskizze in Sonklar's Atlas zu den Gletschern des Ötzthales, die aus dem Jahre 1856 stammt, liefert eine Bestätigung hiefür. Dieselbe ist nach meiner Auffassung so zu verstehen, wie ich es in Fig. 34 andeutete, wonach sie nur den Dammferner in dem damals gegenüber der Maximalausdehnung schon ziemlich reduzierten Zustande sammt dem untersten 500 m breiten Stück des Fernerstammes darstellen soll. So giebt sie uns ein wohlverständliches, charakteristisches Bild. Nach Sonklar's eigener Auffassung, die in den Dimensionsangaben und in der Übersichtskarte zum Ausdruck kommt, wäre der dargestellte Fernerstamm 3000 Fuss = 949 m breit und würde der Länge nach bis nahe zur Einmündung des Guslarferners reichen. Das kann aber nach den Moränenspuren unmöglich richtig sein.

Die Skizze Sonklar's zeigt uns nur enorm verbreiterte Seitenmoränen, die einen schmalen Streifen blanken Eises zwischen sich lassen. Sehr auffällig ist das blanke Ende des thalaufwärts gerichteten Astes, das wohl auf Abspülung durch das Wasser des Stausees zurückzuführen ist. Bei der Aufstauung des Sees am Zufallboden war dieselbe Erscheinung wahrzunehmen. Soweit das Wasser reichte, war aller oberflächlicher Schutt vom Eise entfernt. Dieses selbst zeigte regelmässige karrenartige Furchen in der Richtung des stärksten Gefälles, verursacht durch eine an der kalten Eisfläche absteigende Strömung des Seewassers, die auch den Schutt entführte. Aus der Sonklar'schen Skizze ist auch zu entnehmen, dass der Verlauf der Bewegungslinien im Grossen und Ganzen immerhin der Fig. 33 entsprach. Es geht dies einerseits aus der Vertheilung der Seitenmoränen hervor, andererseits aus der Form einer ganz schmalen Mittelmoräne, die neben der linken Seitenmoräne erst parallel einherläuft und dann gegen das obere Gletscherende zu umbiegt. Die äusserst starke Schuttbedeckung des Ferners, die in den nachfolgenden Stadien des Rückzuges noch erheblich zunahm, erheischt einige Bemerkungen. Sie stammt nur zum geringeren Theile direkt aus dem Firnfeld, der grössere Theil des Schuttet wird wohl vom Gletscherbette aufgewühlt und von den Wänden des Vernagtfirnfeldes nachgestürzt sein. Vielleicht hat der ungestüm vorschreitende Gletscher an Stellen, wie unterhalb des Platteberges oder am Rofenberg unfern des Signales 2470° m den Fuss von Geröllhalden angegriffen und ein muhrenartiges Nachstürzen des Schuttet bewirkt. An letztergenannter Stelle ist noch nach dem Wegschmelzen des Gletschers ein staffelförmiges Absinken des grasbedeckten Schuttbodens erfolgt.

Der Stausee
und seine Di-
mensionen.

Während die Spuren, die der vorschreitende Gletscher hinterlassen hat, heute noch frisch vor uns liegen, sind die weit vergänglicheren Spuren des aufgestauten Sees gänzlich verwischt. Wir sind daher über die Dimensionen desselben weit schlechter unterrichtet als über die des Gletschers. Die Unkenntlichkeit der Spuren war neben dem Zeitmangel auch ein Hauptgrund, warum wir seiner Zeit von einer Vermessung des alten Seegrundes absahen. (Diese Unterlassung, die ich heute bedaure, kann aber jederzeit nachgeholt werden.) Unsere einzige Quelle sind die Messungen Schlagintweit's, und von denselben kommen zur Fixierung des Seespiegels hauptsächlich die Höhenmessungen in Betracht. Ihre Unzuverlässigkeit übersteigt

aber jedes Maass. Für folgende Fixpunkte, deren Identität keinem Zweifel unterliegen kann, seien die Angaben zusammengestellt.

	Nach Schlagintweit:	Wirkliche Höhe:
Vent	1881'3 m	1886 alte, 1893 m reamb. Specialkarte
Rofen	1945'6 m	2004 » 2014 m » »
Hintereishütte (Rofenberger Alm)	2206'4 m	2302 m
Mittlere Guslarspitze	2818'3 m	3129 m eigene Bestimmung
Platteikogl	3326'6 m	3428 m

Die Differenzen lassen sich nur erklären, wenn man annimmt, dass die Autoren gar keine Rücksicht auf gegenseitige Verbindung der Höhenmessungen nahmen. Es ist klar, dass dann mit ihren Bestimmungen des Seebodens 2112'2 m und des Seespiegels 2197'5 m wenig anzufangen ist. Hienach wäre der Seespiegel nur 9 m unterhalb der Hintereishütte, also in 2293 m Höhe gelegen. Da aber dort die Thalsohle 66 m tiefer als die Hütte¹⁾ liegt, ergäbe sich für den See an jener Stelle noch 55 m Tiefe, und am Gletscherende hätte sie 133 m betragen müssen. Der See hätte dann sicher am Hintereisferner emporgereicht, da selbst heutzutage das Ende dieses Ferners, obwohl es sich hinter die Mündung des Hochjochfernerbaches in die Rofner Ache zurückgezogen hat, nur 2270 m hoch liegt. Aber auch der Umstand, dass die Moräne des Vernagtferners an der Zwerchwand nicht höher als 2275 m liegt, lässt diese Deutung der Angaben Schlagintweit's nicht wohl zu, denn der See hätte längst Gelegenheit gefunden, über den Ferner abzulaufen, ehe er die Höhe von 2293 m erreichen konnte. Zudem müsste die Länge des Sees nahezu 2 km betragen haben, während die Schlagintweit nur 1210 m angeben. An letztere Zahl muss man sich wohl halten, um zu einer einigermaassen sicheren Schätzung der Dimensionen zu kommen. Das obere Seeende hat dann, wie auch Schlagintweit's Karte zeigt, unterhalb der Hintereishütte auf der Thalsohle, also in 2236 m Höhe gelegen. Die Tiefe des Sees findet sich zu 2236 — 2160 = 76 m, allerdings um 9 m geringer, als die Barometermessung Schlagintweit's angiebt. Ausserdem ist noch die Angabe im Auge zu behalten, dass im Jahre 1848 der See um 14 Fuss höher stieg, und dann zu einem kleinen Ziegenstall bei der Hintereisalpe reichte. Die Seehöhe dieses Ziegenstalles wäre hienach 2240 m. In dieser Höhe finden sich gegenwärtig nur lose aufgeschichtete Steinreihen, welche das Vieh vor dem glatten abschüssigen Plattenhange gegen den Rofenbach zu warnen sollen. Die Ruinen einer grösseren Almhütte, vermutlich der früheren Ochsenalm, stehen weit höher, bei 2293 m. Sie würden zu dem vorhin verworfenen Seeniveau stimmen. Die hieraus sich ergebenden Zweifel werden noch peinlicher, wenn man erwägt, dass zwar die Moränen der Zwerchwand nur bis 2275 m reichen, wohlgeschliffene Stellen dagegen bis 2296 m, dass ferner in dem Winkel unter dem Rofenberg verwachsene Terrassenbildungen²⁾ in 2270 m vorkommen, welche auch ihre Erklärung erheischen. Ich fasse sie als Zeugen früherer Vorgänge auf, ohne ganz zwingende Gründe dafür zu besitzen. So bleibt das Seeniveau um 50 bis 60 m, und damit der Cubikinhalt des gestauten Sees um 15 Mill. cbm unsicher. Die Brüder Schlagintweit haben nach ihrer Triangulation mit dem Prismenporrhometer den Seeinhalt zu 230 Mill. Cubikfuss (vermutlich Pariser Fuss) berechnet, was 7'9 Mill. cbm gleichkommt.³⁾

¹⁾ Nach Angabe der Herren Blümcke und Hess, welche diese und einige der folgenden Daten bei der Hintereisferner-Vermessung ermittelt haben.

²⁾ Sie sind in Fig. 31 an der Umbiegung der Moräne ins obere Rofenthal wohl zu erkennen.

³⁾ In einem amtlichen Protocoll vom Jahre 1779 wurde der Seeinhalt auf 7 Mill. Cubiklafter oder über 1566 Mill. Cubikfuss berechnet. Da eine Cubiklafter 216 Cubikfuss hat, stimmt die Rechnung äusserlich sehr wenig. In unser Maass umgerechnet ergeben sich 47'7 beziehungsweise 49'4 Mill. cbm.

Wir stehen nunmehr vor der Frage der relativen Grössenverhältnisse des Sees und des Gletschers bei den verschiedenen Ausbrüchen. Es ist gegenwärtig nicht mehr möglich, mit einiger Sicherheit die Moränen verschiedener Gletscherausbrüche zu trennen. Wahrscheinlich sind die Moränen des letzten Ausbruches am weitesten vorgeschoben. Das gilt zweifellos für den eigentlichen Vernaggraben, und nur am ehemaligen Ausgang des Dammfners gegen die Rofenhöfe zu sind ausserhalb des auf der Karte begrenzten Moränenterrains unsichere Spuren früherer Vorstösse zu bemerken. Wichtig für unsere Frage ist folgende Bemerkung Stotter's (S. 47): »Die abgeschliffene Fläche der Zwerchwand theilt eine bogenförmige Linie in zwei Felder: Das untere braungraue hat keine Spur von Vegetation und ist zum Theile schon (1845) im Eise versunken. Das obere wird bergen durch eine ähnliche Bogenlinie von grösserer Krümmung begrenzt und ist mit Flechten und Moosen überzogen. Beide Linien fallen allmählig gegen die Sohle des Rofenthales ein und bezeichnen ohne Zweifel die Höhe und Breite des Eisdammes in früheren Perioden.« Weiterhin (S. 49) giebt Stotter die Höhe der unteren bogenförmigen Linie an der Zwerchwand über der Sohle zu 798 Klaftern = 150 m an. Die Höhe der Sohle ist zu 2112 m anzusetzen; jene Linie hätte demnach bei 2162 m culminierte, während die heutige Endmoräne bei 2175 m liegt. Leider wurde die Höhe der oberen bogenförmigen Linie nicht ermittelt. Nach Stotter's Ausdruck (Felder, nicht etwa Streifen) scheint sie aber erheblich höher gewesen zu sein. Heute kann man sie kaum mehr unterscheiden, vielleicht fiel sie mit der früher erwähnten höchsten deutlichen Schliffstelle, 2196 m, zusammen.¹⁾ Die untere Linie Stotter's bezieht sich zweifellos auf den Ausbruch von 1775, die obere vermutlich auf den von 1681. Letzterer mag dann auch die Seeterrasse zu 2270 m und die gegen die Rofenhöfe zu liegenden Moränenpuren hinterlassen haben. Es wäre demnach der Vorstoss von 1680 der grösste gewesen, ihm reiht sich an der von 1845, dann kommt jener von 1775, der kleinste scheint der vom Jahre 1600 gewesen zu sein. In den Akten (S. 401 bei Richter) wird 1680 die Länge des Dammfners zu 4000 Schritt, also mindestens 2000 m angegeben, ferner die Länge des projectierten Ableitungsstollen zu 900 Bergklafter (à 2'161 m) = 1945 m. Die Angaben für die Grösse des Dammfners beim dritten Vorstoss gehen nicht über 500 Klafter (à 2'005 m) = 1002 m hinaus (S. 431 bei Richter), freilich wird wiederholt versichert, der Gletscher sei so gross gewesen wie 1678 oder 1681.

Viel zahlreicher als die Nachrichten über die Grössenverhältnisse des Gletschers sind jene über die Dimensionen des Stausees, der ja begreiflicherweise der Gegenstand des unmittelbarsten Interesses war. Ich habe alle auffindbaren Nachrichten über die Dimensionen und den Stand des Sees in folgender Tabelle²⁾ vereinigt.

¹⁾ Die Zwerchwand ist bis gegen 2900 m Höhe geschliffen. Die Schritte sind zumeist diluviale Gletscherschliffe, nicht selten und gerade die schönsten sind jedoch Lawinenschliffe.

²⁾ Hiebei bedeutet R. = E. Richter, W. = J. Walcher, St. = M. Stotter, Sch. = Schlagintweit. Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten von Richter's Urkundensammlung, Walcher's Eisberge in Tirol, Stotter's Gletscher des Ötzthales, Schlagintweit's phys. Untersuchungen. In metronomischer Beziehung ist zu bemerken, dass die Klafter bis zum Ende des dritten Vorstosses Tiroler Klafter zu 2'0046 m sind. Zwar wurde das Wiener Klafter (1⁰) zu 1'8965 m am 1. Januar 1769 gesetzlich in Tirol eingeführt, aber noch am 10. Juli 1770 musste der Innsbrucker Stadtmagistrat bei 100 Thaler Strafe zur wirklichen Einführung aufgefordert werden. Bei der Elle ist es zweifelhaft, ob die Tiroler Elle = 0'8042 m oder die Brixener Elle = 0'8330 m gemeint ist. Tirol war in metronomischer Beziehung ein klassisches Land; es hatte über ein halbes Tausend verschiedene Maasse, darunter etwa 70 Ellen zwischen 0'3 m und 1'3 m (Rottenleuthner: Die alten Lokalmaasse und Gewichte in Tirol und Vorarlberg. Innsbruck, Wagner, 1883).

Datum	Länge	Breite	Tiefe	Autor	Stand des Sees, Fallen und Steigen, Ausbrüche etc.
20. VII. 1600	—	—	—	R. 357	Ausbruch.
11. VII. 1601	625°	175°	60°	R. 361	Im Wachsen um Mannshöhe pro Tag.
12. VII. 1601	—	200°	70°	R. 364	Am Überfliessen.
16. VII. 1601	1 Stunde	100 Schr.	—	R. 364	Im Sinken, $4\frac{1}{2}$ Fuss pro Tag.
11. VIII. 1601	—	—	—	R. 368	Im Fallen, 13° in 3 Wochen dem Berg nach.
9. IX. 1601	—	—	—	R. 370	Weniger als halb voll, in 4 Tagen um 12 Fuss seichter geworden.
? V. 1678	—	—	—	R. 378	Bildung des Sees.
24/25. V. 1678	—	—	—	R. 379	Ausbruch ohne Schaden.
27. VI. 1678	700 Schr.	—	—	R. 375	Im Steigen.
1. VII. 1678	744 Ellen	250 Schr.	—	R. 375	Im Steigen, 1 Spanne in 2 Stunden.
6. VII. 1678	1380 Ellen	450 Schr.	100°	R. 377	Im Steigen, $\frac{1}{2}$ Elle in 3 Stunden.
12. VII. 1678	—	—	—	R. 377	Seit 6. um 14 Ellen gestiegen, dann übergelaufen.
14. VII. 1678	—	—	—	R. 377	2 Spannen seichter als am 12.
16/17. VII. 1678	—	—	—	R. 377	Grosser Ausbruch.
? 1679	—	—	—	R. 383	Ausbruch ohne Schaden.
14. VI. 1680	—	—	—	R. 383	Ausbruch.
16. X. 1680	—	—	—	R. 401	Neubildung des Sees.
8. VII. 1681	1 Stunde	1000 Schr.	50—60°	R. 383 401	Nach Austiefung eines Kanals in etlichen Tagen um 4° gesunken.
1679—81	1100°	150°	71°	R. 429	Spätere Schätzung des Maximalstandes nach den Spuren.
15. VI. 1771	—	—	—	R. 424	Kleine Schwellung.
16. IX. 1771	400°	—	30°	R. 428	See im Wachsen.
7. II. 1772	—	—	—	R. 428	10—15° unter der Überfallstelle (Scharte).
24. IV. 1772	900°	—	30—40°	R. 428	Im Fallen, $1\frac{1}{4}$ ° in 4 Tagen.
8. VI. 1772	100°?	—	40°	R. 430	Der See gebildet und ohne Schaden abgelaufen. 6° niedriger als 1774.
20. VII. 1772	1/2 Stunde	130°	50—60°	R. 431	Der See 5—6° höher als 1772.
8. VIII. 1772	—	—	—	R. 431	Der See an der Scharte abgelaufen; 13° dem Berg nach gemessen.
16. VIII. 1772	700°	150°	30°	W. 27	In 5 Stunden 30° dem Berg nach gemessen abgelaufen.
17. IX. 1772	—	—	—	R. 435	Beginn der Stauung.
? 1773	—	—	—	R. 430	Reicht am Hintereisferner hinauf, aber noch nicht zur Scharte.
? 1773	—	—	—	R. 432	30 Schr. dem Berg nach gewachsen; noch 10 Schr. unter der Spur von 1681.
10. VII. 1773	—	—	—	R. 434	See übergelaufen und um 4° in 12 Stunden gesunken.
28. VII. 1773	—	—	—	R. 434	Spiegel um $4\frac{1}{2}$ ° dem Berg nach gesunken, blieb diesmal 6—8° unter der Scharte.
? I. 1774	—	—	—	R. 432	Senkung 15—16° in 8—9 Tagen.
12. VI. 1774	—	—	—	R. 432	Senkung von 31° in 12 Stunden.
22. VI. 1774	—	—	—	R. 433	Seebildung.
26. VI. 1774	—	—	—	R. 433	Ausbruch.
28. VI. 1774	—	—	—	R. 434	Stauung beginnt.
3. VII. 1774	—	—	—	R. 435	St. 36
4. VII. 1774	—	—	—	R. 435	St. 49
1. VI. 1845	—	—	—	St. 36	Ausbruch.
14. VI. 1845	447°	176°2°	25°4°	St. 49	Sch. 141
12. XI. 1845	—	—	—		

Datum	Länge	Breite	Tiefe	Autor	Stand des Sees, Fallen und Steigen, Ausbrüche etc.
31. I. 1846	—	—	—	Sch. 141	Abfluss.
8/9. II. 1846	—	—	—	Sch. 141	Becken leer.
12. II. 1846	—	—	—	Sch. 141	Entleerung.
6. VII. 1846	—	—	—	Sch. 141	Stauung.
15. VIII. 1846	—	—	—	Sch. 141	Entleerung.
6/9. X. 1846	—	—	—	Sch. 141	Stauung.
18. XII. 1846	—	—	—	Sch. 141	Stauung.
28. V. 1847	1210 m	260 m	85 m	Sch. 501	Sehr grosser Ausbruch.
21. IX. 1847	—	—	—	Sch. 141	Beginn der Stauung.
13. VI. 1848	—	—	90 m	Sch. 501	Heftiger Ausbruch. Der See erreichte den Hintereisferner und den Ziegenstall der Rosenberger Alm.

Von den vielen Nachrichten ist jene vom 12. Juni 1774 einigermaassen controllierbar, nach welcher der See am Hintereisferner emporgereicht hatte. Die äussersten Moränenspuren dieses Ferners finden sich bei 2236 m, die Scharfe, welche der See am 26. Juni erreichte, liegt nach Stotter's Angaben bei 2262 m. Der Hintereisferner muss also damals sein Ende tiefer gehabt haben als 2262 m, also auch tiefer als heutzutage, wo es über 2270 m liegt. Dies klingt ganz wahrscheinlich. Die Spur des Sees von 1681, welche im Jahre 1774 merkwürdigerweise noch deutlich sichtbar war, scheint noch höher gelegen zu sein und würde zu der heute noch sichtbaren Seeterrasse in 2270 m recht gut stimmen.

Trotz der kurzen Zeit des Bestandes füllt sich der Stausee an seinem Grunde stark mit Geröll und Geschieben an. Nach Schlagintweit erreichen diese Ablagerungen eine Mächtigkeit von 50 bis 80 Fuss (16 bis 25 m), sie beschränken sich auf die Schlucht des Rosenbaches und werden von demselben bald entführt. Der übrige Seeboden bedeckt sich mit einer dicken Schicht erhärtenden Lehms, in welchen die beim Ausbrüche gestrandeten Miniatureisberge sich festsetzen und nach ihrem Abschmelzen kesselförmige Löcher hinterlassen. Der Spiegel des Stausees ist nämlich von schwimmenden Eisblöcken belebt, die der »Bairische« und der »Vintschger Wind« (Thal- und Bergwind) abwechselnd von einem Ende des Sees zum andern treibt.

Die Ursachen der Vernagtfernerausbrüche.

Man kann versuchen, der berechtigten Frage nach den Ursachen der Vernagtfernerausbrüche dadurch aus dem Wege zu gehen, dass man hervorhebt, wieviel an dem Aussergewöhnlichen dieser Erscheinungen durch zufällige Umstände bedingt ist, so z. B. die Hammerform der Zunge, die Aufstauung des Sees und dessen periodische Entleerungen, dass man weiterhin betont, wie die regelmässige Wiederkehr der Ausbrüche durch die Lehre von den Klimaschwankungen erklärt werde und endlich behauptet, dass der Rest in den analogen Erscheinungen der übrigen Gletscher sein getreues Abbild finde, so dass eigentlich nichts mehr zu erklären bleibe und die Frage wenigstens in ihrer Beschränkung auf den Vernagtferner gegenstandslos sei. Der Versuch war leichter zu unternehmen, solange man sich noch bei dem Mangel genauer Messung über die Grösse der Erscheinung hinwegtäuschen konnte, aber heutzutage haben wir mit den 239 Mill. cbm zu rechnen, welche sich ins Vernagthal ergossen haben oder doch ergiessen müssten, wenn das

Ereigniss sich wiederholen sollte. Diese Eismasse kann sich nicht als das Erträgniss einiger schneereicher Winter und nasskalter Sommer auf den 1200 *ha* der heutigen Firnfläche ansammeln. Dazu wäre eine durchschnittliche Erhöhung der Oberfläche um 20 *m* erforderlich, was dem Bruttoertrag von mindestens ebensoviel Jahren gleichkommt. Wenn man demnach den Abfluss des Vernagtferners 20 Jahre lang sperren könnte, dann würde sich die zu einem Ausbruche nothwendige Eismasse dort angesammelt haben. Dass neben dem tatsächlich immer vorhandenen Abfluss eine solche Anstauung in einer 35jährigen Klimaschwankung (die eine trocken-warme und eine feuchtkühle Periode umfasst) stattfinden könne, erscheint ausgeschlossen. Es kommt ja auch nur alle zwei oder drei Klimaschwankungen zu einem grossen Ausbruch. Der Vernagtferner hat demnach die Fähigkeit, die Firnerträgnisse langer Jahre aufzuspeichern. Diese Fähigkeit ist vor allem zu erklären. Das Nächstliegendste ist, zu sagen der Ferner reduziert zu gewissen Zeiten seine Abschmelzungsfäche und zieht sich in jene Regionen zurück, wo die jährliche Abschmelzung sehr gering ist. Dies gelingt ihm aber nur durch Abminderung der Geschwindigkeit. Eine solche Abminderung der Geschwindigkeit pflegen wir bei andern Gletschern durch Verminderung des Nachschubs infolge ungenügender Ernährung des Firnfeldes zu erklären. Beim Vernagtferner müssten aber verminderde Geschwindigkeit und Aufspeicherung grosser Firnmassen zusammenfallen. An der Thatsache einer ganz ungewöhnlichen Geschwindigkeitsverminderung zu Zeiten des Minimums ist nicht zu zweifeln. Dr. Blümcke's Messungen haben im Zeitraum 1889—91 am Beginn der Zunge des Hochvernagtferners eine jährliche Maximalgeschwindigkeit von nur 17 *m* ergeben. Dabei ist zu beachten, dass die Zunge des Ferners in solchen Zeiten durchaus nicht unempfindlich gegen Klimaänderungen ist. Dies beweisen nicht nur die kleineren Vorstösse, wie der vom Jahre 1820, sondern auch die neuerlichen Geschwindigkeitssteigerungen und Profilschwundungen,¹⁾ welche aller Wahrscheinlichkeit nach mit der feuchtkalten Periode der achtziger Jahre in Zusammenhang stehen. Der Vernagtferner macht also die gewöhnlichen Schwankungen wie jeder andere seinesgleichen, vielleicht in einem, im Verhältniss zu seiner Grösse etwas bescheidenen Maasse mit und sammelt nebenbei die Mittel zu einem grösseren Vorstosse an. Ob er einen grossen Vorstoss etappenweise unternimmt, indem er sich bei der ersten günstigen Gelegenheit mässig vergrössert, wie z. B. im Jahre 1820, dann nicht mehr ganz auf sein früheres Ausmaass zurückzieht, wie möglicherweise im Jahre 1840, um dann auf Grund dieser günstigeren Position den Hauptausbruch auszuführen, wie 1845, ist nicht mit Sicherheit zu ermitteln. Dieser Annahme steht die vielleicht irrthümliche²⁾ Behauptung Walcher's entgegen, dass vor dem Ausbruch im Jahre 1770 die beiden Zungen getrennt, der Ferner also äusserst reduziert gewesen sei. Übrigens erklärt diese Annahme keineswegs die Seltsamkeiten des Vorganges, namentlich nicht den Widerspruch gegen die allgemein angenommene und sicher auch zutreffende Forel-Richter'sche Theorie des Gletscherwachstums. Nach dieser hat ein Anschwellen des Gletscherquerschnittes an der Firmlinie eine Vermehrung des Drucks, eine Steigerung der Geschwindigkeit und damit ein Anschwellen der weiter abwärts gelegenen Querschnitte zur Folge. Dieses Anschwellen pflanzt sich bis zum Ende fort und verleiht dem Gletscher allmählig ein beschleunigteres Tempo, dem die

¹⁾ Vergleiche den folgenden Anhang.

²⁾ Wie leicht ein solcher Irrthum möglich ist, geht daraus hervor, dass ein gewiefter Alpinist in einer Tourenbeschreibung aus den siebziger Jahren behauptet, die beiden Zungen seien vollständig getrennt gewesen, während sie damals doch sicher noch der schuttbedeckte Eisrücken der Mittelmoräne verband.

Abschmelzung nicht mehr folgen kann.¹⁾ Solange die Firnzufuhr andauert, solange also der vergrösserte obere Querschnitt aufrecht erhalten wird, vergrössert sich der Umfang des Ferners, bis die auf der vergrösserten Fläche ergiebiger gewordene Ablation dem vermehrten Nachschub das Gleichgewicht hält und sich somit ein neuer stationärer Zustand ausbildet. Nimmt die Firnzufuhr ab, so wird, falls diese Abnahme langsam genug vor sich geht, die Ablation die Grösse des Gletschers dementsprechend reducieren; der Gletscher geht stetig zurück und behält während der ganzen Zeit des Rückganges das Gleichgewicht zwischen Ablation und Nachschub näherungsweise bei. Bricht dagegen die Zufuhr aus dem Firnfeld plötzlich ab, so reducirt sich alsbald der Bewegungszustand der Eiszunge derartig, dass der infolge der Bewegung stattfindende Nachschub nur mehr einen geringen Bruchtheil der Ablation beträgt. Der nun folgende Zerfall des Gletschers wird mehr und mehr dem eines unbewegten Eiskörpers gleichen, es können sich dabei an seichten Stellen Abschnürungen grösserer Eismassen bilden, die dann aus der Bewegung ausgeschaltet sind und isoliert einer raschen Vernichtung anheimfallen. So liegen am Vernagtferner die Verhältnisse zweifellos beim Rückzug; der Widerspruch mit der Theorie besteht nur darin, dass der Vernagtferner bei dem einen Vorstoss nur einen Theil seiner Firnansammlung verausgabt, während nach der Theorie das Vorrücken so lange zu dauern hätte, bis der Firnvorrath erschöpft ist. Auch wenn man zugeben wollte, dass der Vernagtferner bei starkem Vorstossen infolge der Steilheit des unteren Gletscherbettes den Typus eines *activen* Gletschers, bei geringem Vorrücken dagegen infolge der Gleichförmigkeit des oberen Bettes den eines *inactiven* repräsentiert und ersterem Typus auffällige, letzterem weniger auffällige Schwankungen eigen sind, wird man anerkennen müssen, dass auch die *inactiven* Gletscher den Firnüberschuss einer Klimaschwankung innerhalb derselben wieder verausgaben.

Will man die durch Forel und Richter geschaffene Grundlage nicht aufgeben, wozu sonst kein Grund vorliegt, so muss man annehmen, dass der für die Bewegung der Zunge maassgebende obere Querschnitt sich erniedrigen kann, ohne dass eine dementsprechende allgemeine Erniedrigung des Firnstandes erfolgt und dass ausserdem die Erniedrigung des Querschnittes noch andauert, während bereits eine Erhöhung des Firnstandes Platz greift. Am Hochvernagtferner liegt der kritische Querschnitt zwischen Schwarzkögele und Hintergraslspitze. Hinter ihm breitet sich heutzutage eine beckenförmige Senkung aus, die von den höher gelegenen Theilen des Firnfeldes durch eine 60—80 *m* hohe Stufe getrennt ist. Der Grad der Füllung dieses Beckens ist für den Abfluss des Gletschers maassgebend. Hat dort der Firn einen niederen Stand, so wird wenig abfliessen und der Gletscher daher nur klein bleiben können. Firnansammlungen werden zuerst nur so auf die Zunge wirken, als ob sie bloss im Becken selbst stattgefunden hätten und daher den Gletscher nur soweit vortreiben, als einem Firnfeld von der Grösse des Beckens entspricht. Ist der Vorrath des Beckens erschöpft, so findet eine Erniedrigung des *kritischen* Querschnittes und ein daran sich anschliessender Rückgang der Zunge statt. In solchen Zeiten erscheint naturgemäss das Firnfeld im Vergleich zur Zunge ungewöhnlich gross, oder die Theilungslinie der Gletscheroberfläche in dem normalen Verhältniss 3 : 1 rückt unnatürlich in die Höhe, wie dies gegenwärtig der Fall ist. Nichtsdestoweniger kann in den höher gelegenen, vielfach sehr flachen Theilen die Firnansammlung weiter vor sich gehen. Solange die angesammelten

¹⁾ Die Variation der Abschmelzung habe ich hier nicht weiter berücksichtigt. Für die raschen Vorstösse kommt dieselbe auch kaum in Betracht.

Massen die Senkung nicht erreichen, werden sie ohne Einfluss auf die Bewegung und damit auf die Grösse der Zunge bleiben. Geschieht dieses aber endlich doch, so füllen die nachrückenden Eismassen bei der breiten Einzugsfläche, die ihnen zu Gebote steht, das Becken bald aus; es entsteht dann eine weit grössere Erhöhung des kritischen Querschnittes als den dahinter aufgestapelten Firnmassen eigentlich entspricht und damit sind die Bedingungen für einen rasch verlaufenden, aber sich bald erschöpfenden Vorstoss geschaffen. Diese Bedingungen werden noch günstiger, wenn, wie es bei jedem grossen Vorstoss geschah, der vorschreitende Guslarferner den Abfluss des Hochvernagtfersers noch einige Zeit staut und seinerseits dazu beiträgt, die Eismassen zu vermehren, die sich dann im Verlaufe eines Jahres bis zum Rofenthal hinab ergieissen.

Wie plausibel die eben gegebene Erklärung auch für den ersten Blick erscheint, so bin ich doch weit entfernt, sie für durchaus stichhaltig oder gar endgültig zu erachten. Abgesehen von manchen Einwänden, die sich mit Rücksicht auf die derzeitig bestehenden Abflussverhältnisse machen liessen, bliebe noch die Frage offen, warum beckenförmige Einsenkungen im Firnfeld und steiles Aufeinandertreffen zweier Gletscherzungen nicht auch an anderen Gletschern ähnliche Störungen des Abflusses, die bis zu einer Aufspeicherung der Firnmassen über die sie erzeugende Klimaschwankung hinaus führen, hervorbringen. Unsere Kenntniss des Reliefs der Firnfelder einerseits und der Grössenverhältnisse verschiedener Schwankungen eines Gletschers anderseits sind noch viel zu lückenhaft, um eine erfolgreiche Beantwortung der Frage zu ermöglichen. Nicht zweifelhaft kann es dagegen sein, dass die endgültige Erklärung der Vorgänge am Vernagtferner nur durch das Studium der Veränderungen im Firnfeld gefunden werden kann. Der Anfang hiezu ist durch die Aufnahme unserer Karte gemacht. Die Veränderungen, welche einem künftigen Vorstoss vorausgehen werden, müssen aber sehr bedeutend sein. Um 100 Mill. cbm auf einem Raume von einem Quadratkilometer aufzustapeln, bedarf es einer Höhe von 100 m . Auf Niveauveränderungen von einem ähnlichen Betrage muss man in den tieferen Theilen des Firnfeldes gefasst sein. Auch die Geschwindigkeiten in diesen Theilen des Firnfeldes müssen sich enorm steigern, denn um in einem Jahre 100 Mill. cbm durch den obersten Querschnitt des Vernagtfersers, der höchstens 0.3 qm misst, zu bringen, sind über 300 m Geschwindigkeit erforderlich. Dennoch darf man nicht glauben, dass sich die Beobachtung auch ohne genaue Messungen erledigen liesse. Die beckenförmige Senkung im Firnfeld, die in dem oben gegebenen Erklärungsversuch eine Hauptrolle spielt, ist bisher von Niemanden bemerkt worden, man würde sie sicher nicht vermissen, wenn sie durch Ausfüllung verschwände, obwohl sie 60 bis 80 m tief ist. Wenn Spalten klaffen, Séracs brechen, Eisblöcke kollern, dann mag allenfalls die blosse Beobachtung und Beschreibung genügen; wenn aber der fleckenlose flache Firmantel seine Falten jahrzehntelang stetig hebt oder senkt, dann kann dieser Vorgang nur durch Messung erkannt werden, da ist die kartographische Festlegung unbedingt erforderlich. Gewiss ist dieselbe nicht ohne grosse Opfer herzustellen, namentlich so lange der schon zu Beginn unserer Messungen in nahe Aussicht gerückte Hüttenbau auf dem Hintergrasl nicht wirklich zu stande kommt. Man erwäge, dass bei den bisherigen Nachmessungsarbeiten an den Zungen des Ferners täglich bereits sechs bis sieben Stunden auf Wege zum und vom Revier entfielen und bedenke, dass sich der hiezu nötige Zeitaufwand bei der Vermessung des Firnfeldes auf mindestens neun Stunden täglich steigert, dann wird man das Missverhältniss zwischen dem nutzbaren und dem totalen Arbeitsaufwand würdigen können. Die eigentlich nötigen Arbeitstage werden infolge des ungünstig gelegenen Quartieres zu ebensovielen Arbeitswochen.

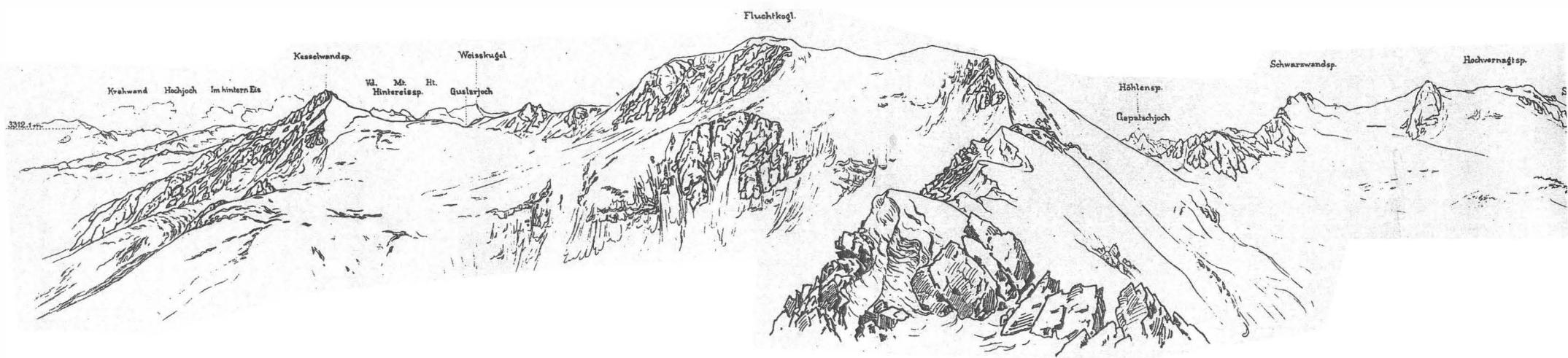
Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass fernerhin regelmässige Nachmessungen vorgenommen werden, entschwindet unter solchen Verhältnissen mehr und mehr, und dieser Umstand lähmt die Thatkraft derer, die sie auszuführen willens wären. Möge hierin bald Wandel geschaffen werden.

Der wissenschaftliche Ertrag solcher Messungen beschränkt sich sicherlich nicht auf die Aufhellung der seltsamen Erscheinungen, an denen die Geschichte gerade des Vernagtfernes so reich ist. Wir wissen nunmehr genügend, wie enge diese Erscheinungen mit der allgemeinen Gletscherkunde, der Lehre von den Klimaschwankungen und in letzter Instanz mit derjenigen von der Eiszeit, ihren Ursachen und Folgen zusammenhängen. Jede dieser Disciplinen wird dauernden Nutzen davon haben.

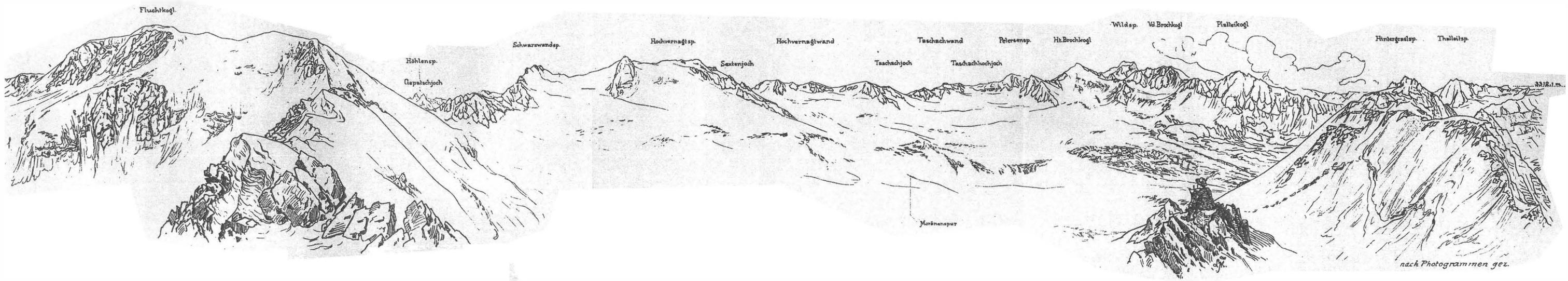
Tabelle der Koordinaten und Höhen von trigonometrischen Punkten der Vernagtferner-Vermessung (nach den Höhen geordnet).

	Höhen	x	y	Bemerkungen
1	2146·0	3266·5	10078·3	
2	2171·1	2847·0	9783·5	Signal verfallen.
3	2184·3	3533·1	10456·0	
4	2193·7	3602·3	10500·3	A. Bez.: Loch in einem grösseren Block.
5	2111·1	3152·0	10063·3	N. Mit grüner Farbe nachmarkiert.
6	2220·7	2578·5	9683·2	P. Signal verfallen.
7	2220·9	3448·6	9776·6	
8	2222·3	2870·9	9511·5	Grosser Steinmann, vermutlich durch Lawinen zerstört.
9	2241·4	2868·3	9909·0	
10	2250·1	3690·4	10861·0	Steinmann, vermutlich verfallen.
11	2261·5	2956·9	10011·3	Signal verfallen.
12	2271·9	3090·6	10127·7	Signal verfallen.
13	2288·7	3206·1	9679·5	Signal verfallen.
14	2294·1	3615·2	9680·7	
15	2308·8	4217·3	11347·2	
16	2309·7	3662·9	9536·3	Todtenhügel. Signal verfallen.
17	2354·0	3712·8	9894·3	B. Bez.: Loch in einem grossen Block.
18	2389·8	3929·8	9195·4	Steinmann auf sehr hohem Felsblock.
19	2407·6	4857·6	11338·8	Signal der Hintereisferner-Vermessung.
20	2441·4	4799·0	11957·4	Hospiz-Signal: Grosser gemauerter Steinmann, von der Hochjochferner-Vermessung herrührend.
21	2445·4	4787·9	11966·2	Hospiz-Signal durch Umbau zerstört.
22	2449·7	4047·8	10538·5	Steinmann.
23	2468·0	3545·1	9308·8	Signal verfallen.
24	2470·0	3958·9	9538·6	C. Bez.: Loch in einem sehr grossen, vorspringenden Felsblock.
25	2477·5	4017·1	8887·0	Verfallen.
26	2502·1	4179·7	8818·4	
27	2514·7	3377·4	9315·4	L. Auf Felsen roth bezeichnet.
28	2527·3	4512·8	8785·7	
29	2531·7	4375·7	8627·0	Auf grossem Block roth bezeichnet.
30	2536·7	4252·7	9106·7	D. Loch in einem grossen Stein.
31	2556·5	4378·5	9007·2	
32	2570·2	4528·2	8434·2	
33	2584·8	5826·5	11055·2	Signal der Hintereisferner-Vermessung.
34	2585·0	4456·4	8997·0	E. Bez: Loch im natürlichen Fels.
35	2611·2	4714·5	8833·8	
36	2661·7	3570·9	8863·5	K. Rothe Bezeichnung auf anstehendem Fels.
37	2667·9	4748·2	8010·3	H. Loch in grösserem Felsblock.
38	2680·4	4328·1	8267·0	
39	2688·3	4956·9	7724·6	Verfallen.
40	2729·4	5380·3	8202·6	G. Loch in grösserem Stein.
41	2744·8	5111·7	8740·0	F. Loch in grösserem Stein.
42	2760·7	4846·6	7637·0	
43	2766·0	5521·7	8066·3	Hintergrasl. Niedriger Steinpfeiler mit grosser Platte.

	Höhen	x	y	Bemerkungen
44	2809·5	5434·2	8941·1	Verfallen.
45	2810·3	5734·3	8401·1	Endpunkt der Steinlinie am Guslarferner.
46	2842·5	4446·8	7804·1	Steinmann vermutlich verfallen.
47	2850·3	5768·4	8288·3	Rother Fleck auf anstehendem Fels in der rückwärtigen Verlängerung der Steinlinie am Guslarferner.
48	2852·4	5827·5	7512·7	Endpunkt der Steinlinie am Vernagtferner.
49	2894·1	5761·7	7912·3	Steinmann vermutlich verfallen.
50	2931·9	5004·7	6971·9	
51	2943·2	5951·2	8205·4	
52	2951·9	4645·4	6807·4	
53	3065·7	4905·3	6733·1	Schwarzkögele, mannshoher Steinmann.
54	3070·8	6271·2	7237·7	Steinpfeiler mit Platte, vermutlich verfallen.
55	3076·1	4940·3	6587·0	Schwarzkögele, kleiner Steinmann auf festem Fels.
56	3079·0	4946·6	6634·7	Schwarzkögele, kleiner Steinmann auf festem Fels.
57	3118·6	5345·4	9688·3	Vd. Guslarusp., 2 m hohe starke Stange.
58	3126·0	5497·7	9963·9	Mtl. Guslarusp., mannshoher Steinmann.
59	3147·9	5983·3	9892·6	Ht. Guslarusp., Steinmann, vermutlich verfallen.
60	3152·5	6666·3	9704·3	Nock, Stangensignal, 2 m hoch.
61	3194·6	6222·8	7850·5	Brochkogeleck, Steinmann.
62	3238·2	6947·4	5581·8	Steinpfeiler mit Platte.
63	3251·3	7452·1	17510·0	Krahwand, mannshoher Steinmann.
64	3312·1	6946·5	7399·4	Dachfirst, Stangensignal verfallen.
65	3325·3	6533·2	7527·2	Hintergraslpitze, Steinmann.
66	3355·3	17571·1	3610·8	Glockthurm, gemauerter Steinpfeiler; Signal der österreichischen Gradmessung.
67	3374·4	6783·1	4452·3	Vernagtwand, Steinmann.
68	3396·6	3850·7	5478·3	Brochkogeleck, Steinmann verfallen.
69	3407·1	758·4	10415·5	Thalleitspitze, Steinbau mit grosser Platte.
70	3407·1	6823·0	3922·6	Weisser Kogl, Stangensignal verfallen.
71	3414·5	7503·2	8675·6	Kesselwandspitze, Steinmann verfallen.
72	3425·9	3820·6	6682·6	Platteikogl, Stangensignal vermutlich verfallen.
73	3465·8	8308·9	5704·1	Schwarzwandspitze, Steinmann.
74	3474·8	4303·2	4459·8	Apere Petersenspitze, Steinmann.



Die Firnregion des Vernagtferners vom Dachfir



Die Firnregion des Vernagtferners vom Dachfirst 3312,1m aus.

Anhang.

Nachmessungen am Vernagt- und Guslarferner.

Von

Dr. Ad. Blümcke und Dr. H. Hess.

Die Nachmessungen am Vernagt- und Guslarferner, über deren Ergebnisse wir hier berichten, wurden 1891, 1893 und 1895 vorgenommen. 1891 wurde nur der Stand der Steinlinie am Vernagtferner eingemessen.¹⁾ 1893 wurden die Zungen beider Gletscher tachymetrisch aufgenommen und die Steinlinien an ihnen eingemessen, sowie die Neulegung von Steinlinien in denselben Richtungen wie 1889 vorgenommen. Schon 1893 beobachteten wir, dass der Guslarferner wesentlich

Messungen von
1891 und 1893.

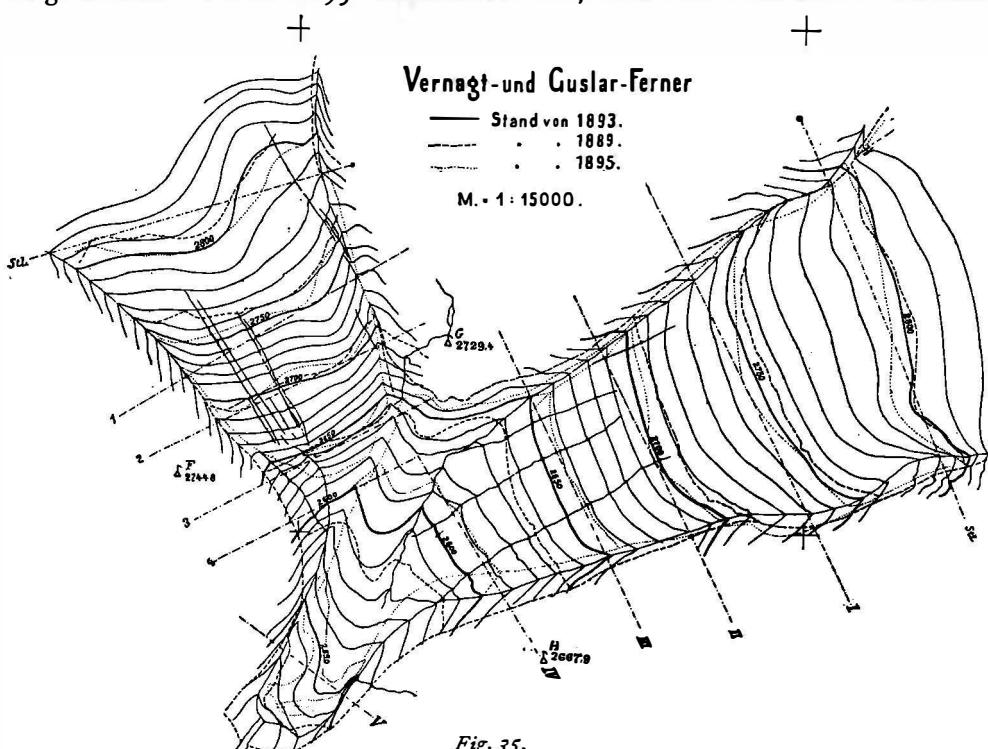


Fig. 35.

zurückgegangen ist gegen seinen Stand von 1889, dass er sich zum Theil von der den beiden Gletschern gemeinsamen Mittelmoräne losgetrennt habe und in unserem vorläufigen Berichte²⁾ haben wir darauf hingewiesen, dass die völlige Lostrennung in nicht sehr ferner Zeit erfolgen dürfte. Die später durchgeföhrten Rechnungen über die Steinlinien ergaben die Thatsache, dass der Guslarferner, trotzdem sein Ende noch zurückwich, in den oberen Partieen gewachsen ist, so dass in dem Profil, das

¹⁾ Vgl. Richter, Zeitschr. d. D. u. Ö. A.-V. 1893, pag. 481.

²⁾ Vgl. Mittheil. d. D. u. Ö. A.-V. 1893, pag. 268.

durch die Steinlinie von 1889 bestimmt ist, zum Theil eine Dickenzunahme von 10 m zu constatieren war. (Vergl. die nachfolgende Fig. 36). Ebenso fand sich aus dem Profile der Steinlinie am Vernagtferner, dass dieser Gletscher in der betreffenden Höhenschicht in die Wachstumsperiode eingetreten ist. Der Stand der beiden Gletscher vom Jahre 1893 ist in Fig. 35 gezeichnet. Diese Karte ist aus 134 tachymetrisch und 20 photogrammetrisch bestimmten Punkten construiert. Die von *F* und *G* aus aufgenommenen Photographieen dienten hauptsächlich dazu, die Form der Isohypsen möglichst naturgetreu zu zeichnen. Da sich die eingemessenen Punkte nicht sehr gleichmässig über das dargestellte Gebiet verteilen und das Aufsuchen zusammengehöriger Punkte in den vorhandenen Photographieen sich wesentlich schwieriger, als erwartet, gestaltete, so dass die Mängel der tachymetrischen Messung nicht allenthalben beseitigt werden konnten, besitzt die Karte des Gletschers von 1893 einen etwas geringeren Genauigkeitsgrad, als es erwünscht ist.

Aufnahme von
1895.

Wir haben daher im Jahre 1895, als wir unsere Arbeiten am Hintereisferner beendet hatten, mit besonderem Interesse uns der Neuaufnahme der Gletscherzungen des Vernagt- und Guslarfersners zugewandt. Diese Aufnahme erstreckte sich auf das Einmessen der vier vorhandenen Steinlinien von 1889 und 1893 und war im Übrigen eine photogrammetrische Aufnahme der Gletscherzungen von fünf Punkten des Moränengebietes aus. Es wurden 180 Punkte photogrammetrisch bestimmt, für welche sich ein mittlerer Höhenfehler von ± 0.8 m ergiebt. Dazu kommen die 48 Punkte der Steinlinien, welche durch Vorwärtseinschneiden von je zwei Signalen eingemessen sind und einen mittleren Höhenfehler von ± 0.3 m haben, sowie ca. 40, von den Marken der Steinlinien und einem Stationspunkt oberhalb *F* aus tachymetrierte Punkte. Die Horizontalposition der photogrammetrischen Punkte ist im Original auf 0.2 mm sicher, was also einem Fehler von ca. 1.5 m entspricht.

Guslarferner.

Die Karte des Gletscherstandes von 1895 ist diesen Zeilen (Tafel III) beigegeben und lässt die bedeutenden Veränderungen erkennen, welche seit 1889 in dem dargestellten Gebiete eingetreten sind. Man sieht, dass der Guslarferner in einem steilen Abschwung selbstständig endigt, sich also völlig von der Mittelmoräne losgetrennt hat.¹⁾ Aus zwei niedrigen Gletscherthoren bei 2612 m ergieissen sich die Schmelzwasser in ziemlich breiten Bächen, um nach kurzem Laufe unter der vom Schutt der Mittelmoräne bedeckten Eismasse zu verschwinden. Weiter oben, bei 2656 m, tritt am rechten Ufer ein kleiner Wasserlauf aus dem Gletscher hervor, welcher auch 1893 fast in derselben Bahn der Thalsohle zustrebte und damals von mit geführtem Schlamm stark gelb gefärbt war. Wir sahen, dass aus dem untersten der trichterförmigen Löcher, welche an der Grenze zwischen grossem und kleinem Guslarferner liegen, schlammführende Wassermassen abflossen, welche von hier an eine längere Strecke auf aperem Grunde verliefen, um dann unter der Zunge des Guslarfersners zu verschwinden. Deshalb halten wir diesen Wasserlauf für den Abfluss der erwähnten Löcher im Firn, welche untereinander durch Wasserläufe in Verbindung stehen, die die Gletscheroberfläche in Serpentineängen durchschneiden. Woher diese Vertiefungen im Firn kommen, welche Sammelbecken von Wasser darstellen, können wir bisher nicht erklären, da auch über die Herkunft der angesammelten Wassermengen noch Zweifel bestehen. Am untersten dieser Firnlöcher war 1895 die Grundmoräne sichtbar und wir konnten die Dicke der Eismasse des grossen Guslarfersners an dieser Stelle auf 6—8 m schätzen.

¹⁾ Diese Lostrennung soll nach Aussagen des Führers Joh. Scheiber aus Vent bereits im Jahre 1894 eingetreten sein.

Das Ende des Vernagtferners fällt 1895 noch mit dem Ende der früheren, von den Hintergrasln abwärts ziehenden Mittelmoräne zusammen und liegt gegen 1889 um 70, gegen 1893 um 20 m weiter thalauswärts, bei 2515 m . Ein Stück todes Eis liegt, durch einen Bach, den Abfluss des Kleinvernagtferners, von der Hauptmasse des Eises abgetrennt, etwas weiter thalabwärts. Die Abschmelzung ist hier noch immer sehr bedeutend und in ziemlich kurzer Zeit wird wohl auch der Vernagtferner sich von den durch den Moränenschutt vor raschem Abschmelzen geschützten Eismassen des alten Mittelmoränenkammes losgelöst haben. Wenigstens lässt ein Vergleich der 1895 und 1896 von Signal F aus aufgenommenen Photographieen deutlich ein weiteres Abschmelzen am Ende des Gletschers erkennen.

Von der 1889 noch vom Eis bedeckten Fläche sind bis 1893 0.138 km^2 , bis 1895 0.191 km^2 frei geworden. Selbst in den oberen Partieen beider Gletscher, in denen ein Zunehmen der Eismasse von der Mitte her nachzuweisen ist, ist nur an wenigen Stellen der Eisrand über den von 1889 hinaus verlegt worden.

Veränderungen im Moränengebiet wurden nur bei Signal G beobachtet, wo infolge des Einsinkens der vom Schutt bedeckten Eismassen der Randmoräne 1895 steilere Hänge aufraten als 1889. Der von den Hintergrasln herabgehende kleine Wasserlauf, der in der Karte von 1889 vorhanden ist, war 1895, soweit es das Rinnal auf der Seite der linken Guslarmoräne betrifft, nicht vorhanden. Im Sommer 1896 wurde die schon erwähnte Photographie um mehrere Wochen früher als 1895 aufgenommen, zu einer Zeit, da der Gletscher noch nicht völlig ausgeapert war und von einer Anzahl von Schneeflecken in den Felsen noch reichliche Schmelzwasser abflossen. Auf diesem Bilde ist auch der Wasserlauf wieder vorhanden, wenn auch sein Rinnal (infolge der Veränderungen an der Moräne) nicht mehr dasselbe ist wie 1889. An mehreren Stellen sind durch den Rückgang des Eises, wie aus der Karte ersichtlich ist, geschliffene Felsen blossgelegt worden.

Die Veränderungen, welche die Masse der beiden Eisströme erfahren hat, lassen sich am besten durch einen Vergleich der Lage entsprechender, über das Eis führender Höhenlinien während der einzelnen Aufnahmezeiten übersehen. Diesem Zwecke soll die Figur 35 ebenfalls dienen. Man sieht, wie die Höhenlinien 2550, 600, 650 und 700 am Vernagtferner immer weiter zurückwichen, während 2800 im Jahre 1893 nur wenig, 1895 beträchtlich weiter thalauswärts greift als 1889. Am Guslarferner ist ebenfalls am Ende ein Rückschreiten der Isohypse 2650 m wahrzunehmen. Die höher gelegenen sind 1893 fast alle weiter vorgerückt gegen 1889 und zwar so, dass dieses Vorgreifen nach oben immer bedeutender wird. 1895 gehen die Höhenlinien 2700 und 2750 theilweise noch über den Stand von 1893 hinaus, aber bei 2800 und darüber ist schon wieder ein Rückgang gegen 1893 bemerkbar. Hier ist also eine kleine Anschwellung erst in den oberen Gebieten des Gletschers eingetreten und, nachdem dieselbe mit ziemlich grosser Geschwindigkeit thalwärts weiter gezogen war, trat ungefähr der frühere Zustand wieder ein. Ob ein weiterer aussergewöhnlicher Eismachschaub von oben her am Guslarferner für die nächste Zeit zu erwarten ist, das kann leider nicht angegeben werden, weil die vorliegenden photographischen Aufnahmen eine Bestimmung der Höhenlage einzelner Punkte oberhalb 2830 m nicht mehr zulassen. Für den Vernagtferner konnte aus sechs Punkten, die bis zu 2970 m liegen, festgestellt werden, dass die Dickenzunahme des Gletschers in diesen Höhen über 10 m beträgt, so dass wohl zu erwarten ist, dass das Wachsthum der Gletscherzungue in der nächsten Zeit weitere Fortschritte machen wird.

Die Ergebnisse der Messungen, soweit sie Änderungen des Volumens und der Dicke der Eismasse betreffen, sind in der folgenden Tabelle I enthalten.

Änderungen im Moränengebiet.

Änderungen der Eismasse.

Tabelle I.

Höhenschicht <i>m</i>	Volumenänderung (Millionen <i>cbm</i>)			Abschmelz- fläche (1895) <i>qm</i>	Jährliche Dicken- änderung <i>m</i>
	1889—93.	1889—95	1893—95		
Für beide Gletscher.					
unter 2550	— 0'394	— 0'616	— 0'222	45 500	— 2'9
2550—2600	— 1'358	— 2'203	— 0'845	116 800	— 3'2
2600—2650	— 1'835	— 3'079	— 1'244	144 100	— 3'6
2650—2700	— 0'807	— 1'299	— 0'492	145 500	— 1'5
Für den Vernagtferner.					
2700—2750	— 0'345	— 0'346	— 0'001	126 800	— 0'45
2750—2800	— 0'400	+ 0'208	+ 0'608	168 400	+ 0'21
2800—2830	+ 0'264	+ 0'686	+ 0'424	119'000	+ 0'95
Für den Guslarferner.					
2700—2750	+ 0'629	+ 0'416	— 0'213	62 300	+ 1'1
2750—2800	+ 0'890	+ 0'768	— 0'122	101 900	+ 1'4
2800—2830	+ 0'418	+ 0'143	— 0'275	103 200	+ 0'23

— Bedeutet Einsenkung, + Erhebung der Gletscheroberfläche.

Zur Bestimmung der Volumenänderung wurden die Flächenstücke mit dem Planimeter bestimmt, welche von den einzelnen Höhenlinien während der Zeit zwischen zwei Beobachtungen bestrichen wurden. Denkt man sich nun den Eiskörper, welcher zwischen zwei Horizontalebenen, deren Abstand *h m* beträgt, während der Beobachtungszeit verschwunden oder angewachsen ist, ausser den beiden Isohypsenflächen nicht durch die krummen Gletscheroberflächen vom ersten und zweiten Beobachtungstermin, sondern durch eine grosse Anzahl von Ebenen begrenzt, welche sich möglichst an die Gletscheroberfläche anschmiegen,¹⁾ so erhält dieser Eiskörper die Form eines Prismatoides, dessen Grund- und Deckfläche bekannt sind (aus den Planimetermessungen) und dessen Höhe *h* ist. So lange Grund- und Deckfläche eines solchen Körpers ihre Grösse beibehalten, wird, bei der gleichen Höhe, das Volumen desselben unverändert bleiben, wenn sich die Gestalt der Grund- und Deckfläche verändert. Haben diese die Grössen *F*₁ und *F*₂, so wollen wir sie uns durch Rechtecke ersetzt denken, welche eine Seite, *δ*, gleich gross haben, während die anderen Seiten *b*₁ und *b*₂ werden, so dass also *b*₁. *δ* = *F*₁, *b*₂. *δ* = *F*₂. Man sieht leicht, dass nun an Stelle des Eiskörpers von sehr unregelmässiger Form ein gleich grosses Prisma getreten ist, dessen Grundfläche ein Trapez mit den Parallelseiten *b*₁ und *b*₂ und der Höhe *h*, dessen Höhe *δ* ist. Der Cubikinhalt dieses Prismas ist also: *h*. *δ*. $\frac{b_1 + b_2}{2}$. Nimmt man *h* und *δ* für alle folgenden Eiskörper zwischen aufeinanderfolgenden Horizontalebenen gleich gross, so erhält man den Betrag der Volumenänderung durch die Formel

$$V = h \cdot \delta \left(\frac{b_1 + b_n}{2} + b_2 + b_3 + \dots + b_{n-1} \right)$$

¹⁾ Es ist klar, dass dieses »Anschmiegen« um so vollkommener wird, je kleiner der Abstand *h* der beiden Horizontalebenen ist.

Die Fläche $h \cdot \left(\frac{b_1 + b_n}{2} + b_2 + b_3 + \dots + b_{n-1} \right)$ kann man nun auf dem Zeichnungsblatt abgrenzen, indem man die Aequidistanz h als Abscisseneinheit und die Grössen $b_1 \dots b_n$ als zugehörige Ordinaten aufträgt. Verbindet man dann die Endpunkte der Ordinaten nicht durch eine gebrochene Linie, sondern durch eine als wahrscheinlich anzunehmende Curve, so ist die Fläche mit aller wünschenswerthen Annäherung so bestimmt, als ob h sehr klein angenommen worden wäre. Mit Hilfe des Planimeters kann dann die Grösse dieser Fläche ermittelt werden und ihre Multiplication mit h ergiebt den gesuchten Cubikinhalt.

Man sieht leicht, dass auf diese Weise bei der Bestimmung der Volumina einzelner Theile des in Betracht kommenden Eiskörpers, auch bei einer kleinen Anzahl von Isohypsen die Summe dieser Theile sich so gross ergeben muss, wie das auf demselben Wege gefundene Volumen des ganzen Eiskörpers. Das war auch der Grund, weshalb diese etwas umständliche Integration angewandt wurde, anstatt der Simpson'schen Regel, nach welcher gewöhnlich derartige Bestimmungen mit hinreichender Genauigkeit, aber weniger Arbeit ausgeführt werden. Dieselbe ist in unserem Falle ganz gut verwendbar zur Volumenbestimmung des ganzen Eiskörpers; für die einzelner Theile, z. B. zwischen 2650 und 2700 m, ist jedoch die Zahl der gemessenen Isohypsenflächen zu klein, und da einzelne derselben mit verschiedenem Gewichte in die Formel eingehen, je nachdem man dieselbe auf den ganzen Eiskörper oder auf einzelne Theile anwendet, welche dann addiert werden, so erhält man Werthe, welche um 14 Procent verschieden sind. Für den Gesammtbetrag der Volumenänderung erhalten wir:

	nach der Simpson'schen Regel	nach obiger Methode
Verlust {	1889—93 5.30 Mill. cbm	5.21 Mill. cbm
	1889—95 7.67 » »	7.54 » »
Zunahme {	1889—93 2.27 » »	2.27 » »
	1889—95 2.14 » »	2.22 » »

Die Tabelle der Volumänderungen in den einzelnen Zeiträumen lässt erkennen, dass am Guslarferner die Periode des Wachsthums, welche auf einem Theil desselben während 1889—93 eingetreten war, während der Jahre 1893—95 wieder durch eine Abschmelzperiode in denselben Gebieten abgelöst wurde. Am Vernagtferner ist 1893 bei 2800 m ein Anwachsen bemerkbar, das sich bis 1895 auf ein grösseres Gebiet thalauswärts erstreckt. Dass dasselbe wohl noch längere Zeit nachhalten wird, wurde früher schon erörtert. Für 1893—95 ergiebt sich das Wachsthum auf der Fläche 2750—2800 zu 608 000 cbm, das auf der Fläche 2800—2830 zu 424 000 cbm, also scheinbar kleiner; dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die letztere Fläche selbst wesentlich kleiner ist, als erstere.

Durch Division der Volumenänderung mit der zwischen den zugehörigen Isohypsen liegenden Fläche und mit der Anzahl von Jahren, welche zwischen den verwendeten Beobachtungen liegen, wurden die Zahlen »jährliche Dickenänderung« der Tabelle I erhalten. Diese Zahlen sind also Mittelwerthe für ein ziemlich ausgedehntes Gebiet und deshalb weit entfernt, als absolute zu gelten. Doch ist gut ersichtlich, wie die Massenveränderung während der sechs Jahre, auf welche sich die Beobachtungen erstrecken, verlaufen ist. Auffallend ist dabei die geringe Dickenabnahme, welche sich für das Gletscherende ergiebt. Zieht man aber in Betracht, dass zur Ermittelung der betreffenden Zahlen die im Verhältniss ziemlich bedeutenden Flächenräume miteinbezogen wurden, welche im Anfange der Beobachtungszeit schon eisfrei wurden, auf welchen also späterhin gar keine Abschmelzung mehr stattfinden konnte, so werden dieselben verständlich und weisen auch gleichzeitig

darauf hin, dass die verwendete Methode für das Randgebiet des Gletschers nicht practicabel ist. Wir haben daher auf einem anderen Wege den Betrag der Dickenänderung festzustellen versucht und zwar, indem wir den Verlauf der Gletscheroberfläche in mehreren Profilen für die einzelnen Beobachtungszeiten aus der Karte construierten. Diese Profile sind in Fig. 37 verkleinert reproduziert. Die Richtungen,

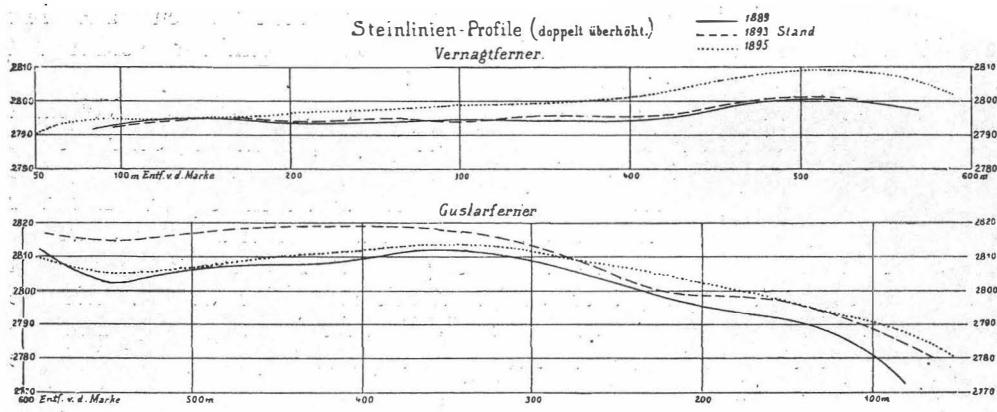
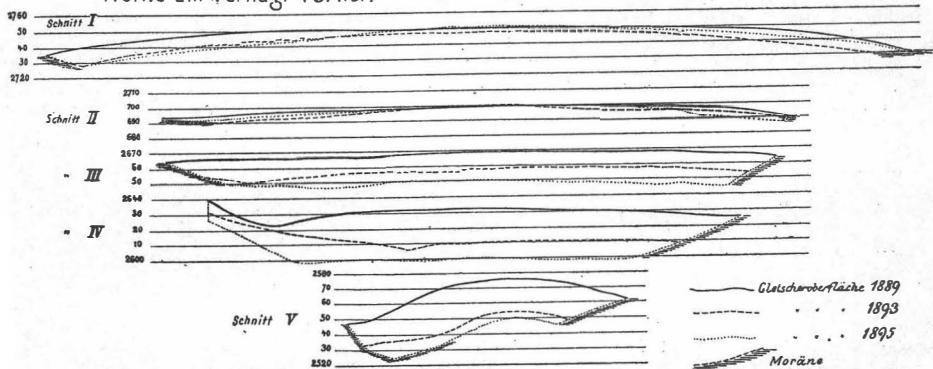


Fig. 36.

Profile am Vernagt-Ferner.



Profile am Guslar-Ferner.

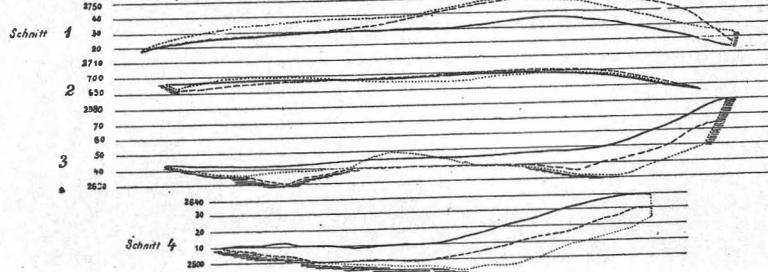


Fig. 37.

in welchen sie geführt sind, sind in dem Kärtchen Fig. 35 eingetragen. Es wurden die Flächen zwischen den einzelnen Profillinien der Gletscheroberfläche planimetrisch ermittelt und durch die mittlere Breite des Gletschers in der Profalebene dividiert. Die auf diese Weise erhaltenen Zahlen sind die in der Verticalen gemessenen Dickenänderungen an den betreffenden Stellen und da sie Mittelwerthe für ein sehr kleines

Gebiet darstellen, so kommt ihnen eine viel grössere Sicherheit zu, als den in der Tabelle I enthaltenen.¹⁾ Man bemerkt in Tabelle II, dass die Dickenabnahme am Gletscherende am grössten ist und mit zunehmender Höhe kleiner wird. 1893 ist bei 2800 m ein geringes Wachsthum vorhanden, das sich 1895 schon bei 2700 m geltend macht. Da zwischen 2720 und 2750 m die Breite des Gletschers wesentlich zunimmt, so wird die Fläche, auf welcher die Abschmelzung wirken kann, bedeutend vergrössert, während gleichzeitig die von oben nachgeschobenen Massen auf eine grössere Grundfläche vertheilt werden. Das Resultat ist also eine grössere Dickenabnahme bei 2750 m, als bei 2700, was auch die Tabelle für die Zeiträume 1889—93 und 1889—95 aufweist. Beim Guslarferner kommt deutlich zum Ausdruck, dass eine gewisse Eismenge allmählig von oben zum Ende der Zunge transportiert wurde und dass dieser Transport 1895 schon fast beendet war (vgl. oben).

Tabelle II.

Profil	Seehöhe 1895 m	Mittlere Breite m			Profilfläche qm			Jährliche Dickenänderung m		
	1889—93	1893—95	1889—95	1889—93	1893—95	1889—95	1889—93	1893—95	1889—95	
Vernagtferner.										
V.	ca. 2550	161	113	131	— 3802	— 902	— 4704	— 5'9	— 40	— 60
IV.	» 2600	334	289	314	— 6019	— 3350	— 9369	— 4'6	— 5'8	— 50
III.	» 2650	383	357	373	— 4273	— 2861	— 7134	— 2'8	— 40	— 3'2
II.	» 2700	397	384	407	— 1019	+ 196	— 823	— 0'6	+ 03	— 0'3
I.	» 2750	547	526	557	— 3058	+ 706	— 2352	— 1'4	+ 07	— 07. .
Steinlinie	» 2800	492	513	520	+ 283	+ 2447	+ 2750	— 0'14	+ 24	+ 09
Guslarferner.										
4	ca. 2600	248	166	202	— 2901	— 1717	— 4626	— 3'9	— 5'3	— 3'8
3	» 2650	325	253	291	— 2651	— 505	— 3156	— 2'0	— 10	— 1'8
2	» 2700	352	344	356	+ 392	— 470	— 78	+ 03	— 07	— 0'1
I	» 2750	381	383	382	+ 3097	+ 470	+ 3567	+ 20	+ 06	+ 1'6
Steinlinie	» 2800	522	542	530	+ 3840	— 1170	+ 2670	+ 18	— 16	+ 08

Für den Zeitraum 1888—89 hat Finsterwalder die entsprechenden Daten über die Veränderungen der Eismasse des Vernagt aus 131 Punkten ermittelt, welche 1888 tachymetrisch eingemessen wurden und für welche die Höhe pro 1889 aus den Höhenlinien der Hauptkarte von 1889 durch Interpolation bestimmt wurde. Das Ergebniss ist (nach Prof. Finsterwalder): »Die Einsenkung betrug im Mittel (von 1888—89)

unter 2550 m	15 m	2700—2750 m	4'3 m
2550—2600 »	6'6 »	2750—2800 »	1'8 »
2600—2650 »	4'6 »	2800—2850 »	0'0 »
2650—2700 »	4'0 »		

Sieben Messungen zwischen dem Eisbruch und dem Fusse des Schwarzkögle ergeben zwischen 2850—2950 einen Zuwachs von 2 m. Der Gesammtverlust 1888—89 betrug 3'44 Mill. cbm.

¹⁾ Übrigens sind die maximalen Werthe der Senkung oder Hebung der Gletscheroberfläche für die einzelnen Querschnitte speziell auch für jene an den Steinlinien aus den Fig. 36 und 37 ersichtlich.

Davon

unter 2550	0.24 Mill. cm	2650—2700	0.72 Mill. cm
2550—2600	0.54 » »	2700—2750	0.78 » »
2600—2650	0.65 » »	2750—2800	0.51 » »

Der Zuwachs am Schwarzkögle scheint local zu sein und sich nicht über die ganze Fläche zwischen 2850 und 2950 zu erstrecken. Er ist zu unsicher, um genauer verfolgt zu werden.

Die durchschnittliche Senkung der Oberfläche zwischen 2500—2800 m beträgt 3.9 m.

Man sieht, dass in allen Höhenschichten die Einsenkung von 1888—89 grösser war, als sie sich im Durchschnitt für ein Jahr des Zeitraums von 1889—95 ergiebt. Die grössere Abtragung zwischen 2700 und 2750 gegenüber 2650—2700 m zeigt sich aber auch hier. Zu ihrer Erklärung dürfen wir neben den oben angeführten Punkten vielleicht noch anführen, dass bei 2720 m die Neigung der Gletscheroberfläche stark zunimmt, so dass diese der Einwirkung der Sonnenstrahlung hier in höherem Maasse ausgesetzt ist, als an anderen Stellen.

Was die Veränderung am Kleinguslarfener betrifft, so zeigt sich, dass derselbe durchweg im Rückgang sich befindet. Die vom Eis bedeckte Fläche hat dort um 0.003 km^2 abgenommen und aus dem Profil der Steinlinie (vergl. Fig. 38) ergiebt sich von 1889—93 eine Senkung der Oberfläche um 2 m, von 1889—95 um 5 m, also eine jährliche Senkung von circa 0.8 m zwischen 2840 und 2900 m.

Ablation.

Zu einem Versuche, die Eismenge zu bestimmen, welche durch die Querschnitte, für welche die

Geschwindigkeit der Eisbewegung bekannt ist, transportiert wurde, müssten die Beträge der Ablation für die betreffenden Höhenschichten bekannt sein. Genaue Zahlen liegen für den Vernagtferner nicht vor; man könnte vielleicht die durch unsere Versuche am Hintereisferner gewonnenen Daten zu Hilfe ziehen.¹⁾ Dort fanden wir als Mittelwerth der Ablation am Rande und in der Mitte des Gletschers

$$\begin{aligned} \text{bei } 2580 \text{ m} & \dots \dots 3.9 \text{ m} \\ \text{» } 2640 \text{ »} & \dots \dots 2.8 \text{ »} \\ \text{» } 2725 \text{ »} & \dots \dots 2.4 \text{ »} \end{aligned} \left. \right\} \text{pro Jahr.}$$

Tabelle II zeigt, dass die jährliche Dickenabnahme am Vernagt in den betreffenden Höhenschichten bedeutend grösser ist. Dabei haben wir noch zu berücksichtigen, dass bei dieser Dickenabnahme immer noch Eis von oben nachgeschoben wurde, so dass also der Betrag der Ablation am Vernagt- und Guslarfener bedeutend grösser ist, als am Hintereisferner, der als nächster Nachbar doch fast unter den nämlichen allgemeinen Witterungsbedingungen steht. Allerdings hat der Vernagtferner etwas grössere Neigung und ist fast direct südlich gerichtet, so dass für ihn die Sonnenstrahlung bedeutend wirksamer wird, als für den schwach geneigten,

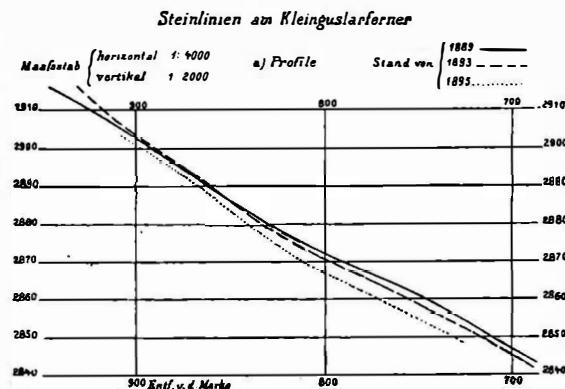


Fig. 38.

¹⁾ Vgl. Mittheil. des D. u. Ö. A.-V. 1896, Nr. 4.

in nordöstlicher Richtung herabziehenden Hintereisferner. Jedenfalls weist uns das negative Ergebniss dieses Versuches darauf hin, dass es nothwendig wird, für den Vernagtferner in ähnlicher Weise die Ablationsconstanten zu bestimmen, wie es für den Hintereisferner geschehen ist, wenn anders die bisherigen und künftigen Nachmessungen an diesem Gletscher zu den erhofften Resultaten führen sollen.²⁾

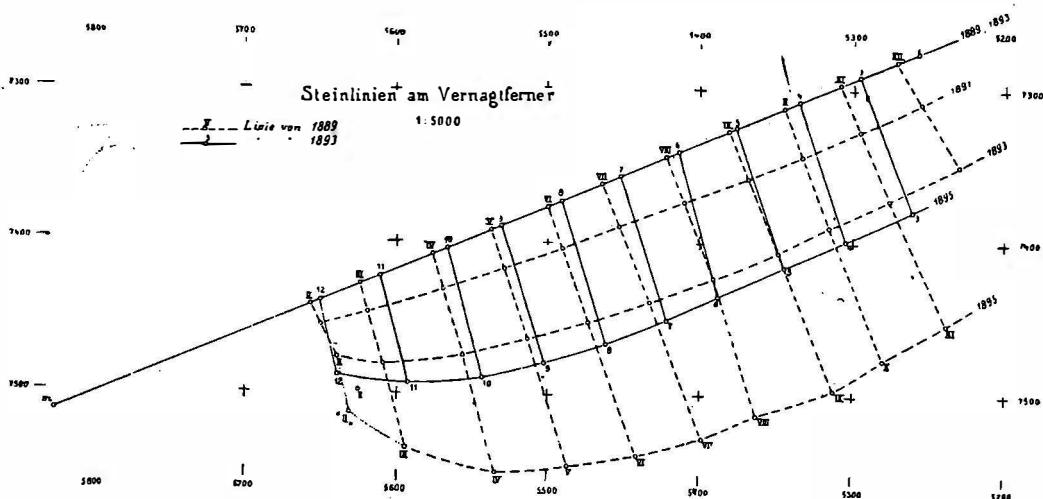


Fig. 39.

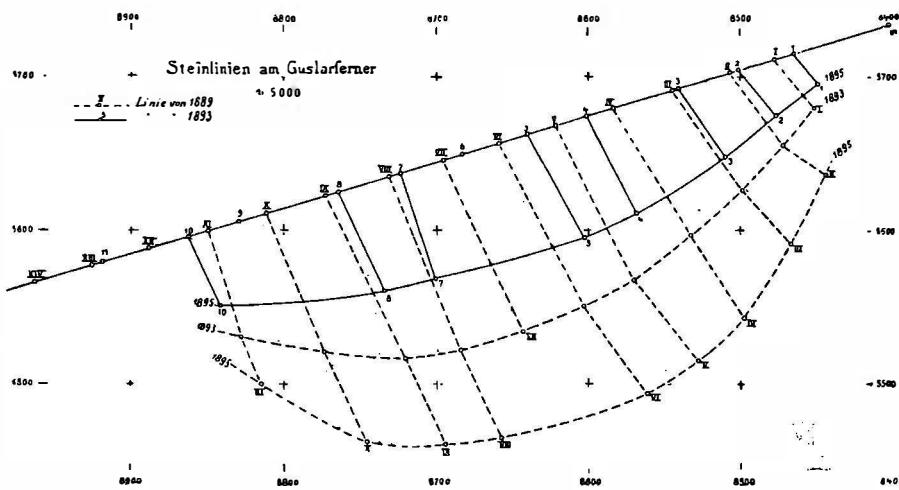


Fig. 40.

Die zum Studium der Bewegungsverhältnisse der Gletscher gelegten Steinlinien haben, wie aus den Figuren 39 und 40 ersichtlich ist, wesentliche Veränderungen erfahren und schon diese allein würden genügen, um auf ein Anwachsen des Vernagtferrners in dem Zeitraum von 1891—95, das bis zur Höhenlinie 2800 m herabreichte, schliessen zu lassen. Es ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeit des

Steinlinien.

²⁾ Es sei uns gestattet, hier ein Versehen zu korrigieren, das in unserer Publication über den Hochjochferner (Zeitschr. d. D. u. Ö. A.-V. 1895, pag. 16 ff.) vorgekommen ist, und das sich in der darauffolgenden Arbeit über den Alpeiner Ferner wiederholt. In beiden Fällen soll an die Stelle von „mittlere Abschmelzung“ „Dickenabnahme“ gesetzt werden.

Vernagtferner.

Tabelle III.

Rothe Linie von 1889		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	
1893	1891	^a z	—	184°8'	221°3'	272°4'	314°8'	355°7'	394°0'	440°2'	485°1'	523°7'	563°0'	603°5'	630°1'	668°3'	710°0'	731°2'
		^b z	—	2791°2'	2794°5'	2794°3'	2794°1'	2793°6'	2794°4'	2794°1'	2794°1'	2795°1'	2798°7'	2800°9'	2799°6'	2797°6'	2790°8'	2785°4'
1895	1893	^c x	—	565°7'	561°7'	556°7'	552°7'	548°8'	545°1°0'	540°6'	—	533°0'	529°6'	5255°0'	—	—	—	—
		^d y	—	745°5'	7446°1'	7431°6'	7417°7'	7404°2'	7289°5'	7373°2'	—	7344°6'	7326°7'	7308°5'	—	—	—	—
		^e z	—	2789°5'	2791°1'	2790°7'	2789°1'	2788°8'	2789°6'	2789°9'	—	2789°6'	2793°5'	2794°9'	—	—	—	± 0°1'
1895	1893	^f x	—	5639°2'	5608°5'	5556°0'	5512°6'	5472°6'	5432°5'	5391°7'	5349°2'	5315°5'	5276°1'	5229°6'	—	—	—	—
		^g y	—	7476°9'	7481°5'	7474°8'	7464°1'	7453°5'	7440°4'	7424°3'	7407°6'	7390°2'	7372°1'	7349°8'	—	—	—	—
		^h z	—	2783°9'	2785°7'	2785°6'	2784°0'	2782°6'	2783°2'	2784°1'	2783°7'	2784°9'	2788°1'	2787°8'	—	—	—	± 0°1'
1895	1893	ⁱ x	—	5626°2'	5594°1'	5535°8'	5486°4'	5441°7'	5398°1'	5362°9'	5312°0'	5279°9'	5238°5'	—	—	—	—	—
		^j y	—	7496°7'	7538°8'	7552°0'	7548°1'	7540°8'	7530°2'	7513°8'	7496°3'	7477°1'	7454°3'	—	—	—	—	—
		^k z	—	2783°1'	2778°1'	2776°0'	2774°6'	2772°2'	2773°7'	2775°1'	2773°1'	2774°6'	2777°9'	—	—	—	—	± 0°3'
			—	12	II	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	—	—	
Bläue Linie von 1893	1893	^a z	—	191°1'	234°8'	282°9'	321°7'	364°5'	407°0'	448°3'	489°7'	533°7'	577°1'	618°6'	664°7'	—	—	—
		^b z	—	2792°4'	2794°2'	2794°9'	2794°0'	2793°8'	2795°7'	2795°5'	2796°9'	2800°4'	2801°6'	2797°2'	—	—	—	± 0°3'
1895	1893	^c x	—	5639°3'	5593°1'	5543°8'	5502°1'	5461°2'	5421°4'	5387°6'	5344°4'	5304°4'	5260°5'	—	—	—	—	—
		^d y	—	7489°6'	7494°3'	7490°4'	7480°1'	7467°4'	7423°3'	7436°3'	7416°5'	7399°0'	7379°5'	—	—	—	—	—
		^e z	—	2786°6'	2786°0'	2786°7'	2784°8'	2783°8'	2784°9'	2786°8'	2787°3'	2788°6'	2793°1'	—	—	—	—	± 0°2'

Grosser Guslarferner.

Steinlinie von 1889	1889	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	—	—	
			a	$80^{\circ}3'$	$110^{\circ}0'$	$149^{\circ}9'$	$189^{\circ}9'$	$229^{\circ}8'$	$269^{\circ}4'$	$308^{\circ}5'$	$348^{\circ}6'$	$389^{\circ}6'$	$429^{\circ}6'$	$470^{\circ}0'$	$510^{\circ}1'$	$549^{\circ}4'$	$588^{\circ}7'$	—
Steinlinie von 1893	1893	z	$2771^{\circ}9'$	$2782^{\circ}3'$	$2789^{\circ}5'$	$2792^{\circ}5'$	$2796^{\circ}6'$	$2803^{\circ}5'$	$2809^{\circ}2'$	$2811^{\circ}9'$	$2809^{\circ}8'$	$2807^{\circ}6'$	$2807^{\circ}5'$	$2805^{\circ}4'$	$2802^{\circ}3'$	$2812^{\circ}6'$	—	—
		x	$5679^{\circ}0'$	$5655^{\circ}0'$	$5625^{\circ}5'$	$5594^{\circ}1'$	$5567^{\circ}4'$	$5550^{\circ}2'$	$5535^{\circ}6'$	$5522^{\circ}4'$	$5516^{\circ}3'$	$5522^{\circ}3'$	$5531^{\circ}2'$	—	—	—	—	—
		y	$8451^{\circ}0'$	$8472^{\circ}0'$	$8498^{\circ}7'$	$8532^{\circ}7'$	$8569^{\circ}1'$	$8603^{\circ}3'$	$8643^{\circ}7'$	$8684^{\circ}1'$	$8721^{\circ}2'$	$8774^{\circ}1'$	$8828^{\circ}8'$	—	—	—	—	—
		z	$2778^{\circ}4'$	$2777^{\circ}4'$	$2782^{\circ}3'$	$2783^{\circ}4'$	$2783^{\circ}8'$	$2789^{\circ}5'$	$2792^{\circ}5'$	$2792^{\circ}4'$	$2790^{\circ}0'$	$2790^{\circ}9'$	$2796^{\circ}6'$	—	—	—	—	$\pm 0^{\circ}3$
Steinlinie von 1895	1895	x	—	$5637^{\circ}2'$	$5590^{\circ}5'$	$5540^{\circ}9'$	$5514^{\circ}5'$	$5494^{\circ}0'$	—	$5444^{\circ}2'$	$5440^{\circ}0'$	$5442^{\circ}4'$	$5499^{\circ}0'$	—	—	—	—	—
		y	—	$8442^{\circ}7'$	$8467^{\circ}8'$	$8497^{\circ}3'$	$8527^{\circ}0'$	$8560^{\circ}8'$	—	$8657^{\circ}3'$	$8694^{\circ}2'$	$8745^{\circ}0'$	$8815^{\circ}3'$	—	—	—	—	—
		z	—	$2776^{\circ}5'$	$2767^{\circ}9'$	$2763^{\circ}5'$	$2765^{\circ}9'$	$2770^{\circ}8'$	—	$2774^{\circ}0'$	$2776^{\circ}0'$	$2778^{\circ}0'$	$2787^{\circ}0'$	—	—	—	—	$\pm 0^{\circ}3$
Steinlinie von 1893	1893	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	—	—	—	—	—	
		a	$65^{\circ}7'$	$105^{\circ}5'$	$147^{\circ}0'$	$209^{\circ}3'$	$250^{\circ}1'$	$295^{\circ}2'$	$337^{\circ}8'$	$380^{\circ}9'$	$448^{\circ}5'$	$543^{\circ}3'$	$582^{\circ}8'$	—	—	—	—	?
		z	$2780^{\circ}0'$	$2789^{\circ}0'$	$2795^{\circ}7'$	$2798^{\circ}4'$	$2804^{\circ}2'$	$2812^{\circ}0'$	$2816^{\circ}7'$	$2818^{\circ}4'$	$2818^{\circ}5'$	$2816^{\circ}6'$	$2814^{\circ}3'$	—	—	—	—	$\pm 0^{\circ}1$
		x	$5695^{\circ}6'$	$5674^{\circ}8'$	$5646^{\circ}8'$	$5609^{\circ}9'$	$5595^{\circ}0'$	—	$5567^{\circ}9'$	$5559^{\circ}3'$	—	$5550^{\circ}2'$	—	—	—	—	—	—
Steinlinie von 1895	1895	y	$8448^{\circ}2'$	$8476^{\circ}9'$	$8510^{\circ}5'$	$8568^{\circ}6'$	$8602^{\circ}2'$	—	$8700^{\circ}6'$	$8684^{\circ}2'$	—	$8841^{\circ}6'$	—	—	—	—	—	—
		z	$2776^{\circ}8'$	$2780^{\circ}8'$	$2787^{\circ}6'$	$2788^{\circ}0'$	$2792^{\circ}0'$	—	$2802^{\circ}4'$	$2801^{\circ}0'$	—	$2800^{\circ}0'$	—	—	—	—	—	$\pm 0^{\circ}3$

a = Abstand von der Marke; **z** = Seehöhe; **x** und **y** = Hospiz-Coord.

Eises während der Jahre 1889—91 wesentlich kleiner ist als 1891—93, während der Betrag der Verschiebung in den zwei Jahren von 1893—95 grösser ist, als der in dem vierjährigen Zeitraum von 1889—93.

Die Lage der einzelnen Nummernsteine kann zwar nach den Figuren 39 und 40 recht gut beurtheilt werden; wir wollen aber doch in der Tabelle III die Coordinaten jedes dieser Punkte während der verschiedenen Beobachtungszeiten angeben.

Beim Guslarferner konnten 1895 mehrere Steine nicht mehr gefunden werden. Ausserdem war eine Anzahl derselben nur tachymetrisch bestimmt, so dass die Höhe nicht genauer als auf 1 m angegeben werden kann.

Zur Beurtheilung der Bewegungsverhältnisse beider Gletscher wollen wir uns an die Figuren und an die folgende Tabelle IV halten. Als erstes Ergebniss findet sich, dass durchweg die Geschwindigkeit am Gletscherrande kleiner ist als in der Mitte.

Geschwindigkeiten.

Tabelle IV.

	Zeitraum		Gesammtverschiebung m			Tägliche Verschiebung m		
	Datum	Tag	Stein III	Stein VIII	Mittel für die ganze Linie	Stein III	Stein VIII	Mittel für die ganze Linie
Vernagtferner.								
alte Linie	3. IX. 89 bis 28. VII. 91	693	19.1	32.1	28.0	0.028	0.046	0.040
	28. VII. 91 bis 7. VIII. 93	740	36.8	54.5	51.5	0.050	0.073	0.070
	7. VIII. 93 bis 30. VIII. 95	753	59.6	94.5	88.1	0.079	0.125	0.117
neue			Stein 12	Stein 6	Mittel	Stein 12	Stein 6	Mittel
	7. VIII. 93 bis 30. VIII. 95	753	51.3	99.7	89.8	0.067	0.132	0.119
Guslarferner.								
alte Linie	25. VIII. 89 bis 8. VIII. 93	1444	59.4	120.7	95.4	0.041	0.085	0.066
	8. VIII. 93 bis 31. VIII. 95	753	35.6	72.9	57.9	0.047	0.097	0.077
			Stein 2	Stein 5	Mittel	Stein 2	Stein 5	Mittel
neue	8. VIII. 93 bis 31. VIII. 95	753	39.3	77.5	60.2	0.052	0.103	0.080

Es zeigt sich demnach, dass am Vernagtferner in den drei Perioden der Beobachtung die Geschwindigkeit sehr bedeutend angewachsen ist, so dass während der Jahre 1893—95 dieselbe im Mittel den 3.2fachen Werth hat wie 1889—91, und dass speciell 1893—95 das Wachsthum derselben grösser ist als von 1891—93, woraus abermals auf ein länger andauerndes Zunehmen der Eismassen in der Gletscherzunge zu schliessen ist. Die Geschwindigkeit, welche die Steine der blauen Linie von 1893 aufweisen, ist um einiges grösser, als die der alten Linie für den gleichen Zeitraum. Das stimmt überein mit der bekannten Wahrnehmung, dass die Geschwindigkeit der Eisbewegung gegen das Gletscherende hin sich verlangsamt. Die Linie von 1889 lag während 1893—95 fast durchaus um ca. 10 m tiefer und um etwa 80 m weiter thalauswärts, als die von 1893, so dass die letztere wohl die Geschwindigkeiten einer dickeren Eismasse feststellen lässt.

Am Guslarferner zeigt sich dieselbe Erscheinung in etwas grösserem Maasse. Die Höhendifferenz der Schichten, deren Geschwindigkeit gemessen wurde, betrug 1893—95 ca. 25 m, die Verschiebung beider Linien in der Horizontalen etwa 90 m. Die Differenz der Geschwindigkeiten ist dafür auch 1.2 m statt 0.9 m wie beim

Vernagt. Da für den Guslarferner eine Nachmessung der Steinlinie während der Periode 1889—93 nicht stattfand, so lässt sich natürlich auch nicht feststellen, wie sich die mittlere Verschiebung von 95·4 m auf die vier Jahre vertheilt und ob die Geschwindigkeit 1893—95 bereits wieder kleiner wurde, als sie 1891—93 war.

Eie vorstehende Tabelle enthält ausser der mittleren Geschwindigkeit für die ganzen Steinlinien auch noch für jede Linie die, aus den Positionen der Punkte gerechneten, Verschiebungen je eines Punktes der Gletschermitte und des Randgebietes. Die wirkliche Randgeschwindigkeit konnte leider nicht angegeben werden, weil die am Rand gelegenen Steine bald soweit gegen die Moräne hinausgeschoben wurden, dass sie nicht mehr an der Gletscherbewegung theilnahmen.

Der Punkt der neuen Vernagtlinie, welcher mit Punkt III der alten der gleichen Bewegungslinie angehört, hatte 1893—95 eine Verschiebung von 67·8 m, gegenüber 59·6 des Punktes III. Die Höhendifferenz zwischen beiden Punkten betrug 1893: 7·5 m, 1895: 7·6 m. Für eine um höchstens 7·5 m dicke Eismasse ist also die Verschiebung am Rand der Oberfläche um 8·2 m grösser. Die Punkte VIII der alten und 6 der neuen Linie haben fast die gleiche Bewegungsrichtung. Ihre Verschiebungen im Zeitraum 1893—95 unterscheiden sich um 5,2 m, während ihre Höhendifferenzen 11·6 bezw. 11·7 m betragen.

Am Guslarferner weist der dem Punkt II der alten Linie entsprechende Punkt der neuen eine Verschiebung von 40·7 m in der Zeit 1893—95 auf, gegenüber 35·6 m des Punktes II. Die Höhendifferenz beider war 1893: 12·1 m, 1895: 14·2 m. Der dem Punkt VI der alten Linie zugehörige Punkt der neuen wurde um 78 m gegen 72·9 des Punktes VI verschoben. Höhendifferenz beider Punkte war 18·7 bezw. 25·2 m. Ein sicherer Schluss auf das Verhältniss der Geschwindigkeitsabnahme zwischen Gletscherrand und Gletschermitte für dieselbe Höhendifferenz lässt sich aus diesen Zahlen nicht gewinnen. Ein Vergleich ist immerhin interessant.

Pro Meter Höhendifferenz nimmt von oben nach unten die Verschiebung ab:

am Vernagtferner	am Guslarferner
in der Mitte: um 0·4 m	um 0·3 m
am Rand: um 1·1 m	um 0·4 m

Welche Rolle hiebei die Neigungsverhältnisse spielen, lässt sich leider nicht angeben, da die Gestalt des Gletscherbettes an den betreffenden Stellen unbekannt ist. Bei den täglichen Verschiebungen, wie sie in Tab. IV enthalten sind, sind die dritten Decimalen nur annähernd brauchbar, da ja schon die Gesammtverschiebungen sich um 2—3 m von den wirklichen Geschwindigkeiten der Eisoberfläche für den betreffenden Zeitraum unterscheiden können, weil die Nummernsteine durch öfteres »Tischen« zuweilen stärker abwärts rutschen, als die zugehörigen Eispartieen.

Übrigens wollen wir noch darauf hinweisen, dass die auf der linken Seite des Guslarfners liegenden Steine II, III, V und VI der Linie von 1889 während der Jahre 1893—95 eine andere Bewegungsrichtung aufweisen als vorher. Die Hauptursache davon dürfte wohl in einer Art Aufblähung der Eismasse in der betreffenden Gegend liegen, die auch durch starke Zerklüftung sich anzeigt und ein Breiterwerden der Zunge, ein Hinausgreifen derselben auf das Moränengebiet von 1889, zur Folge hatte.

Ähnliche Unregelmässigkeit weist am Vernagtferner nur der Punkt VIII auf, dessen Bewegungsrichtung 1893—95 von der bis 1893 verschieden ist, aber mit der des Steines 6 der neuen Linie übereinstimmt. Hier ist ebenfalls eine örtliche Anschwellung die Ursache, welche aus der Form der Höhenlinien von 1893 und 1895 (vgl. Fig. 35 und Karte) zu ersehen ist. Der Punkt II der alten Linie lag 1895 so, wie er in Fig. 39 eingetragen ist. Nach der Bewegungsrichtung und

dem Verlauf der Steinlinie müsste er bei »II« gelegen sein. Hier hat sich wohl ein Witzbold ein Vergnügen gemacht. Da der Stein für spätere Geschwindigkeitsmessungen noch brauchbar ist, so wurde seine Position auch bestimmt und in die Fig. 39 aufgenommen.

Dass die Steine auf der rechten Seite des Guslarfners eine grössere Geschwindigkeit aufweisen, als die der linken, hat seinen Grund darin, dass die Richtung der Steinlinie 1889 nicht senkrecht zur Bewegungsrichtung genommen wurde, so dass vom linken zum rechten Ufer immer höher gelegene Eisschichten in den Kreis der Beobachtung gezogen werden.

Die Steinlinien am Klein-Guslarfner sind Fortsetzungen der über den grossen Gletscher gelegten.

Die folgende Tabelle enthält die Coordinaten der einzelnen Punkte während der betreffenden Beobachtung.

			1	2	3	4	5	6	7	
Linie von 1889	1889	a	673'4	711'7	749'9	826'3	863'5	900'5	939'1	
		z	2838'6	2850'3	2860'0	2878'6	2890'7	2903'0	2914'9	
	1893	x	—	—	5516'5	5505'5	—	—	—	
Linie von 1893	1893	y	—	—	9121'0	9157'3	—	—	—	
		z	—	—	2858'9	2867'9	—	—	—	± 0'4
	1895	x	—	—	5516'2	5505'6	5494'4	5482'9	5471'6	
Linie von 1895	1895	y	—	—	9119'8	9154'8	9188'5	9221'4	9256'5	
		z	—	—	2855'4	2863'5	2873'8	2886'8	2899'1	± 0'3
			10	11	12	13	14	15	16	
Linie von 1893	1893	a	682'5	716'7	755'3	799'9	835'3	868'9	905'1	
		z	2839'7	2850'0	2859'5	2870'5	2881'0	2893'1	2905'6	± 0'3
	1895	x	—	5526'3	5515'8	5502'9	5493'3	5482'4	5472'1	
	1895	y	—	9085'2	9122'9	9163'1	9197'0	9226'3	9262'8	
		z	—	2845'1	2855'7	2865'8	2876'0	2889'4	2901'5	± 0'3

Als wir 1893 die neue Linie legten, sind wir fast genau auf einige Nummernsteine der alten 1889er Steinlinie gestossen. Die Eisbewegung hat also, da die Bewegungsrichtung mindestens einen Winkel von 60° mit der Richtung der Steinlinie bildet (vergl. Fig. 41), in den vier Jahren von 1889—93 einen sehr kleinen Betrag aufzuweisen. Für den Zeitraum 1889—95 (alte Linie) ergiebt sich eine mittlere Gesamtverschiebung von $5'7\text{ m}$. — Die Steine der 1893er Linie erfuhren bis 1895 im Mittel eine Verschiebung von $4'7\text{ m}$. Die beiden Zahlen zusammen ergeben also für 1889—93 eine mittlere Geschwindigkeit von $0'25\text{ m}$, für 1893—95 von $2'4\text{ m}$.

In engem Zusammenhange mit der Bewegung des Eises an den einzelnen Stellen der Gletscher steht die Lage verschiedener kleiner Oberflächenmoränen. So findet sich z. B. die auf dem linken Rande des Guslarfners zwischen den Punkten 2767 und 2710 m herabziehende Moräne im Jahre 1895 um 10—15 m senkrecht zu ihrer Längsrichtung weiter gegen das Ufer hinausgepresst als 1889. Das steht auch im Einklange mit der an dieser Stelle und weiter oben eintretenden Verbreiterung der Gletscherzung. Auf dem rechten Rande des Vernagtferners zieht von 2921 bis 2817 ebenfalls eine kleine Moräne herab, welche 1889 um ca. 12 m

Lage kleiner Oberflächenmoränen.

weiter von der Achse des Gletschers entfernt verlief. Auch hier ist die Verschiebung der Moräne die Folge des Anwachsens der Eismassen gegen die Gletschermitte hin. Dagegen zeigt uns der Verlauf der Moräne, welche am Ende des Vernagt von 2639 kommend bei 2602 m ausläuft und 1889 in der Richtung 2597, 2592 m weiter gieng, dass sich die Projection der Ablagerung in dem seit 1889 eisfrei gewordenen Gebiete und der noch vorhandenen Oberflächenmoräne mit der Projection der Moräne von 1889 deckt; die Bewegung hat hier also seit 1889 in derselben Richtung stattgefunden, wie bis zu diesem Zeitpunkte. Die Stromlinien des Gletschers verhielten sich an dieser Stelle stationär, während dies an den vorher erwähnten Punkten nicht der Fall war.¹⁾

Art der Eisbewegung.

Was nun die Art der Eisbewegung betrifft, so glauben wir darauf hinweisen zu dürfen, dass in gewissen Fällen ein Gleiten des Eises über darunter befindliche Schichten des Gletschers eintritt. Auf einer 1896 von F aus aufgenommenen Photographie des Gusslarfners zeigt sich da, wo die steile Uferwand des Eises in die weniger steile Oberfläche übergeht, eine Art Abbruchkante, welche man zunächst für den einen Rand einer Spalte halten könnte, deren anderer Rand stark abgeschmolzen und um mehrere Meter gesenkt ist. Solche Spalten traten aber an der betreffenden Stelle, wie die früheren Photographien ausweisen, nicht auf und ausserdem bemerkte man auch jetzt keine Unterbrechung im Eise. Dagegen sieht sich diese Stelle von weiter oben aus so an, dass ein Überhängen des Eises der oberen Schichte gegen die untere erkennbar wird und die Streifen, welche parallel zum Gletscher- rande längs der ganzen Uferwand hinziehen, deuten auf eine Schichtung der Eismasse, bei welcher dann die Annahme eines plötzlichen Wechsels der Geschwindigkeit nicht gar zu gewagt erscheinen dürfte.

Als interessantestes Ergebniss der Nachmessungen wird nun die Thatsache des Wachsthums der Gletscherzungen in den oberen Gebieten erscheinen, während die Abschmelzung am Ende der Gletscherzungen hinreicht, um eine beständige Höherlegung dieser Enden zu ermöglichen. Bei einfacher Markierung des Gletscherendes und selbst mehrerer Punkte des Gletscherrandes wäre die Massenverschiebung in den höher gelegenen Gebieten der Beobachtung wohl entgangen; selbst für den Fall, dass einzelne photographische Aufnahmen die Markierung vervollständigt hätten, wäre das Anwachsen des Vernagtfners nicht mit Sicherheit festzustellen gewesen — ein Beweis, wie nothwendig möglichst genaue Vermessungen zum Studium des Gletscherphänomens sind.

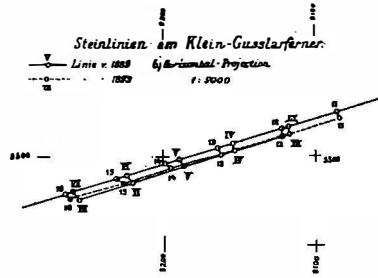


Fig. 41.

¹⁾ Vgl. übrigens die vorausgehende Abhandlung Finsterwalder's, S. 51 und 66.

